

cognoscere

CADERNOS TEMÁTICOS DE PESQUISA DO IFG

2



Meio ambiente e desenvolvimento sustentável

Carlos de Melo e Silva Neto
Fernando Schimidt
organizadores

cognoscere

CADERNOS TEMÁTICOS DE PESQUISA DO IFG

2

cognoscere

CADERNOS TEMÁTICOS DE PESQUISA DO IFG

2



Meio ambiente e desenvolvimento sustentável

Carlos de Melo e Silva Neto
Fernando Schimidt
organizadores

ISBN 978-85-67022-40-6

© 2021 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Os artigos assinados, no que diz respeito tanto à linguagem quanto ao conteúdo, não refletem necessariamente a opinião do Instituto Federal de Goiás. As opiniões são de responsabilidade exclusiva dos respectivos autores.

É permitida a reprodução total ou parcial desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S335	Meio ambiente e desenvolvimento sustentável/ Organizadores Fernando Schmidt e Carlos de Melo e Silva Neto. – Goiânia: Editora IFG, 2020. 240 p.: il. – (Cognoscere: cadernos temáticos de pesquisa do IFG; 2)
	ISBN (Ebook): 978-85-67022-40-6 ISBN (Impresso): 978-85-67022-41-3
	1. Meio ambiente. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Pesquisa – Educação. I. Schmidt, Fernando, org. II. Silva Neto, Carlos de Melo e, org. III. Título. IV. Série.
	CDD 363.7

Catalogação na publicação:
Maria Aparecida Rodrigues de Souza – CRB 1:1497

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Editora IFG
Avenida C-198, Qd. 500, Jardim América
Goiânia/GO | CEP 74270-040
(62) 3237 1816
editora@ifg.edu.br

Sumário

APRESENTAÇÃO	7
CARLOS DE MELO E SILVA NETO FERNANDO SCHIMIDT	
I - MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS	21
1. MODELAGEM DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM ÁGUA DE RIO POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	23
FERNANDO SCHIMIDT	
2. GEOINFORMAÇÃO DEFININDO PRIORIDADES EM PLANEJAMENTOS PÚBLICOS DE CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES	33
FRANCIELE FATH LARA GOMES CÔRTEZ NATHÁLIA MACHADO E SOUSA VIVIAN MARA UHLIG	
II - FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS	49
3. PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA RECICLAGEM DO SEBO BOVINO	51
TATIANA APARECIDA ROSA DA SILVA NATHÁLIA AUGUSTA URBANO CAETANO	
III - ÁGUAS URBANAS E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	63
4. INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE DUAS TECNOLOGIAS SOCIAIS VOLTADAS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS: SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	65
VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU MAICON BRAÚNA DE MOURA CLAUDIO JACINTHO	
5. DESEMPENHO LUMÍNICO DAS TELHAS TRANSLÚCIDAS DE TEREFTALATO DE ETILENO (PET) PERANTE AS DE POLICARBONATO E FIBRA DE VIDRO	81
CHRISTIANE ROSA DE PAIVA REGIS DE CASTRO FERREIRA	

6. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS SUBSTITUINDO INDUTORES SINTÉTICOS NA PRODUÇÃO DE LACASE FÚNGICA	95
JHÉSSICA CAVALCANTE S. GOLVEIA MARIÂNGELA F. SANTIAGO MARIA TERESA FREITAS BARA LAIS CAMARGO DE LACERDA MEDRADO	
7. PLANOS DE SEGURANÇA DE ÁGUA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RISCOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL	103
NOLAN RIBEIRO BEZERRA	
8. METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS URBANAS	121
ANTONIO PASQUALETTO WANESSA SILVA ROCHA	
9. CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA EMBASAMENTO DA ESCOLHA DE FONTES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO: O CASO DAS CAVAS DE MINERAÇÃO	133
VINÍCIU FAGUNDES BÁRBARA ROSANA GONÇALVES BARROS	
IV - PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL	153
10. A INTERVENÇÃO SOCIAL DE UM NÚCLEO DE PESQUISAS E ESTUDOS DO IFG EM UMA COMUNIDADE DE AGRICULTORES FAMILIARES EM SITUAÇÕES DE RISCO PELO USO DE AGROTÓXICOS	155
ALESSANDRO SILVA DE OLIVEIRA	
11. CONHECER AS PERCEPÇÕES, OS VALORES E AS DIFICULDADES DE UMA COLETA SELETIVA DE LIXO NO MUNICÍPIO DE INHUMAS/GO	171
GUSTAVO HENRIQUE A. MONTEIRO ROCHA JOÃO BAPTISTA CHIEPPE JÚNIOR MARCELA AMORIM DA SILVA NATASHA CAMILO DA SILVA OLIVEIRA	
12. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA	181
ANTONIO PASQUALETTO GRIGÓRIO DA SILVA OLIVEIRA JÚNIOR	
13. USO DO SOLO E RECURSOS HÍDRICOS: BUSCANDO ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE MANEJO	199
RICARDO FERNANDES DE SOUSA	
14. MODELO CONSTRUTIVO COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE	219
BRUNA RODRIGUES DOS SANTOS TIENA MORAIS MATOS	
SOBRE OS AUTORES	231

Apresentação

Entendemos o meio ambiente como tudo o que existe ao nosso redor, influenciando e regendo toda a vida, com os conjuntos de fatores bióticos e abióticos e suas interações, especialmente quando relacionadas aos seres humanos, não por sermos mais importantes que os outros organismos, mas por sermos capazes de destruir tudo o que produz e mantém a vida. Mesmo conhecendo tamanha influência sobre nossa existência, ainda tratamos o meio ambiente como secundário ou apenas como um recurso a ser explorado, em especial nos tempos e nos governos atuais. Assim, haja vista o papel da espécie humana, somente nós podemos pensar soluções sustentáveis para todos os problemas ambientais que criamos.

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás constitui referência em formação de estudantes, desde o ensino técnico até a pós-graduação, consolidando-se como instituição de ensino, pesquisa e extensão com atuação na área de meio ambiente. Essa atuação inclui programas de fomento à pesquisa, programas de iniciação científica, projetos de ações de extensão, eventos técnico-científicos e atividades de ensino em cursos técnicos, cursos de graduação e programas de pós-graduação, como especializações e mestrados.

Há mais de dez anos, o IFG vem desenvolvendo ações que envolvem soluções de problemas ambientais e alternativas para o desenvolvimento mais equilibrado das sociedades humanas no mundo. Em consideração à importância dessas ações, foi proposta uma composição de trabalhos relacionados ao assunto em um volume da série *Cognoscere: Cadernos Temáticos de Pesquisa do IFG*. Assim, surgiu o caderno *Meio ambiente e desenvolvimento sustentável*, com trabalhos sobre esse tema tão atual e relevante. Esta publicação representa, assim, uma amostra das pesquisas desenvolvidas na instituição, o que tende a impulsionar estudos afins, valorizando ainda mais as questões ambientais.

Neste caderno, os trabalhos foram agrupados em três eixos temáticos: o primeiro é a “Modelagem de sistemas ambientais e fontes de energias renováveis”; o segundo, “Águas urbanas e gerenciamento

de resíduos”, e o terceiro, “Produção sustentável”. Esses eixos buscam abarcar todas as áreas do conhecimento relacionadas ao meio ambiente, mas apresentam lacunas tanto na proposta do caderno quanto nas próprias áreas de pesquisa. Com trabalhos como estes busca-se a superação dessas lacunas no âmbito da pesquisa realizada na instituição.

No primeiro eixo, “Modelagem de sistemas ambientais e fontes de energias renováveis”, encontram-se três trabalhos. No trabalho “Modelagem de oxigênio dissolvido em água de rio por meio de Redes Neurais Artificiais e Simulação de Monte Carlo”, Fernando Schimidt propõe a modelagem da qualidade das águas superficiais com a utilização dos algoritmos de Redes Neurais Artificiais como uma possível forma de avaliar o conhecimento dos mecanismos e interações que caracterizam a diversidade de comportamento dos diferentes corpos de água, mostrando um uso promissor da Simulação de Monte Carlo para construção de modelos com dados de análise de água bruta, os quais, muitas vezes, são escassos ou incompletos, comprometendo a interpretação desses modelos e suas aplicações. No segundo trabalho, intitulado “Geoinformação definindo prioridades em planejamentos públicos de conservação de espécies”, Franciele Fath, Lara Gomes Côrtes, Nathália Machado e Sousa e Vivian Mara Uhlig propõem o aprimoramento de um instrumento de planejamento público ambiental por meio de técnicas da biologia da conservação, capazes de produzir geoinformação que pode auxiliar na tomada de decisões. Nesse estudo, as autoras buscam definir áreas estratégicas (AE) dentro do PAN Herpetofauna da Serra do Espinhaço, para facilitar a identificação de ações prioritárias e direcionar recursos limitados para localidades que contemplam uma maior proporção das espécies-alvo, buscando a melhoria do estado de conservação dos répteis e anfíbios na região. No terceiro e último trabalho, “Produção de biodiesel através da reciclagem de sebo bovino”, Tatiana Aparecida Rosa da Silva e Nathália Augusta Urbano Caetano apresentam a produção de biodiesel a partir do sebo bovino pré-tratado, pela reação de transesterificação alcalina com metanol utilizando hidróxidos de sódio e potássio. As autoras identificam rendimento acima de 80% na produção do biodiesel e defendem a viabilidade técnica para a proposta, criando uma alternativa de combustíveis menos poluentes para os biocombustíveis.

O segundo eixo, “Águas urbanas e gerenciamento de resíduos”, é composto de seis trabalhos. No primeiro, “Instalação e funcionamento de duas tecnologias sociais voltadas para a gestão das águas: sistema

de captação de água da chuva e bacia de evapotranspiração”, os autores Viviane Evangelista dos Santos Abreu, Maicon Braúna de Moura e Claudio Jacintho apresentam duas tecnologias sociais para a melhoria da gestão dos recursos hídricos de comunidades: o sistema de captação de água da chuva e a bacia de evapotranspiração. Os autores constataam que a qualidade das águas captadas satisfaz critérios exigidos por normas reguladoras e que o custo para implementação dos sistemas possibilita a diminuição dos gastos com os sistemas públicos de água e esgoto. No segundo trabalho, intitulado “Desempenho lumínico das telhas translúcidas de tereftalato de etileno (PET) perante as de policarbonato e fibra de vidro”, Christiane Rosa de Paiva e Regis de Castro Ferreira apresentam uma análise das propriedades das telhas transparentes feitas com garrafas PET e outros materiais, como o policarbonato e a fibra de vidro, disponíveis no mercado da construção civil, com base nos parâmetros relativos à iluminação natural, incluindo as propriedades óticas e de conforto lumínico. No terceiro trabalho, “A substituição de indutores sintéticos por resíduos agroindustriais na produção de lacase fúngica”, Jhêssica Cavalcante de Souza Gouveia, Mariângela Fontes Santiago, Maria Teresa Freitas Bara e Lais Camargo de Lacerda Medrado propõem a produção da enzima lacase do fungo orelha-de-pau (*Pycnoporus sanguineus*) com a utilização de resíduos agroindustriais de açaí, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho, em um meio de cultivo composto apenas por caldo de batata e dextrose a 0,5%, sem a adição de indutores sintéticos, possibilitando o aproveitamento de resíduos da agroindústria em um método simples, acessível e barato de produção, de forma ecoamigável, de grande quantidade de lacase. No quarto trabalho, “Planos de segurança da água como instrumento de gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água no Brasil”, Nolan Ribeiro Bezerra aborda a estrutura proposta pela Organização Mundial de Saúde para garantir a segurança da água para consumo humano em sistemas de abastecimento de água no âmbito nacional e internacional e problematiza aspectos conceituais e metodológicos dessa proposta, que, sob a perspectiva da autora, deve ser adequada à realidade brasileira. No quinto trabalho, “Metodologia para implantação de sistema para captação de água pluvial em residências urbanas”, Antonio Pasqualetto e Wanessa Silva Rocha discorrem sobre a atual crise hídrica mundial, procurando alternativas viáveis tanto ambiental quanto economicamente, de forma a assegurar a disponibilidade da água, sobretudo o fornecimento hídrico nos centros urbanos,

onde se encontra a maior demanda por parte da população crescente. Os autores apresentam uma metodologia para dimensionar reservatórios destinados ao armazenamento de águas pluviais e para implantar um sistema de captação dessas águas em moradias urbanas. No sexto e último trabalho deste eixo, intitulado “Critérios ambientais para embasamento da escolha de fontes alternativas de abastecimento hídrico: o caso das cavas de mineração”, Viníciu Fagundes Bárbara e Rosana Gonçalves Barros apresentam um panorama de como os aspectos ambientais das águas de lagos de mineração são avaliados pela comunidade científica internacional, principalmente no sentido de analisar o potencial de cavas como fontes alternativas de abastecimento público.

No terceiro eixo, referente à “Produção sustentável”, apresentam-se cinco trabalhos. No primeiro, “A intervenção social de um núcleo de pesquisas e estudos do IFG em uma comunidade de agricultores familiares em situações de risco pelo uso de agrotóxicos”, Alessandro Silva de Oliveira apresenta os aspectos teóricos de fundamentação da pesquisa-ação e elucida de forma analítica o contexto socioambiental dos agricultores expostos ao risco de contaminação por agrotóxicos. No segundo trabalho, “Conhecer as percepções, os valores e as dificuldades de uma coleta de lixo no município de Inhumas/GO”, Gustavo Henrique Amaral Monteiro Rocha, João Baptista Chieppe Júnior, Marcela Amorim da Silva e Natasha Camilo da Silva Oliveira discutem a importância de entender a verdadeira situação do lixo no município de Inhumas/GO, buscando identificar o tipo de lixo produzido pela cidade com a finalidade de apresentar um diagnóstico para a prefeitura municipal como solução do problema dos resíduos. No terceiro trabalho, “Pagamento por serviços ambientais na agropecuária brasileira”, Antonio Pasqualetto e Grigório da Silva Oliveira Júnior demonstram as possibilidades e alternativas para que o produtor rural possa conservar os recursos ambientais e obter renda através de contratos de pagamento por serviços ambientais (PSA), destacando que o fortalecimento no PSA no Brasil tende a criar novas oportunidades em termos ambientais e econômicos por meio da geração de renda e de emprego e da inserção da produção agropecuária brasileira no comércio internacional sustentável. No quarto trabalho, “Uso do solo e recursos hídricos: buscando alternativas sustentáveis de manejo”, Ricardo Fernandes de Sousa expõe dados relevantes sobre o uso agropecuário do solo, correlacionando-os com a degradação dos mananciais de água superficiais, bem como indica alternativas para a conservação dos mananciais,

especialmente na região do Cerrado brasileiro. No quinto e último trabalho, intitulado “Modelo construtivo com foco em sustentabilidade”, Bruna Rodrigues dos Santos e Tiena Morais Matos tratam do modelo produtivo com foco em sustentabilidade Terra Mundi, destacando que, quanto mais os funcionários contribuem para um ambiente ecologicamente equilibrado e se empenham em melhorar sua condição social por meio da educação, mais benefícios são direcionados ao público interno e ao meio ambiente, o que é possibilitado pela mudança de cultura na construção de um empreendimento.

Tendo em vista a diversidade de questões abordadas nestes trabalhos e o potencial da instituição para o desenvolvimento de pesquisas na área de meio ambiente, esperamos que este Caderno seja um marco histórico na publicação de trabalhos vinculados a essa área, contribuindo, assim, com o desenvolvimento da pesquisa e com a valorização do conhecimento científico, fundamental para a compreensão dos cuidados que a manutenção da vida requer.

CARLOS DE MELO E SILVA NETO
FERNANDO SCHIMIDT

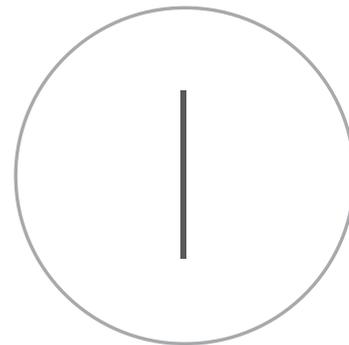
Os organizadores



Modelagem de sistemas ambientais

1. MODELAGEM DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM ÁGUA DE RIO POR MEIO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS E SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO
2. GEOINFORMAÇÃO DEFININDO PRIORIDADES EM PLANEJAMENTOS PÚBLICOS DE CONSERVAÇÃO DE ESPÉCIES

Modelagem de oxigênio dissolvido em água de rio por meio de Redes Neurais Artificiais e Simulação de Monte Carlo



FERNANDO SCHMIDT

A água é rara no sistema solar e no universo conhecido, mas é bastante abundante em nosso planeta. É condição essencial para a existência e a manutenção da vida, pois todos os organismos necessitam dela para sobreviver (BAIRD, 2011; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009). Sua disponibilidade é um dos fatores mais importantes a moldar os ecossistemas. Embora seja encontrada em várias formas físicas (sólida, líquida e gasosa), aparece principalmente no estado líquido, cobrindo cerca de 70% da superfície da Terra (BAIRD, 2011; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009). Constitui-se como recurso renovável por meio do ciclo hidrológico, cujos fenômenos básicos são a evaporação (mudança do estado físico líquido para o gasoso) e a precipitação (mudança do estado físico gasoso para o líquido).

É fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físicas, químicas e microbiológicas adequadas para sua utilização (BAIRD, 2011; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009). Eles devem conter substâncias essenciais à vida e estar isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos prejudiciais aos organismos que compõem as cadeias alimentares. Assim, devem estar disponíveis em quantidade e qualidade satisfatórias para atender às necessidades da biota – conjunto de seres vivos (BAIRD, 2011). Quase a totalidade da água (99,5%) não está diretamente disponível para uso: 97,0% constituem-se de água salgada; dos 3,0% que correspondem à água doce, 2,5% se localizam nas calotas polares e, por isso, também não podem ser diretamente aproveitados (BAIRD, 2011). Assim, sob o ponto de vista tecnológico e econômico, 0,5% de toda a água do planeta corresponde à água doce que pode ser extraída de lagos, rios e aquíferos e destinada ao uso. Entretanto, boa parte dessa água situa-se em locais de difícil acesso ou encontra-se poluída. Logo, estima-se que somente 0,003% do volume total esteja disponível para o consumo humano direto.

A qualidade ambiental de um ecossistema aquático pode ser avaliada por meio de sua caracterização física, química ou biológica (BAIRD, 2011; SPERLING, 2007). De maneira ideal, devem-se abordar todos esses aspectos de forma a alcançar um amplo espectro de informações a serem utilizadas tanto no monitoramento ambiental quanto na avaliação da efetividade das medidas de controle de poluição e, conseqüentemente, no gerenciamento adequado do uso das águas (SPERLING, 2007). O monitoramento de um recurso hídrico tem como objetivos: acompanhar as alterações da sua qualidade, elaborar previsões de comportamento, desenvolver instrumentos de gestão, bem como obter subsídios para as medidas saneadoras necessárias (SPERLING, 2007). Esse monitoramento exige que sejam estabelecidas formas de acompanhamento da variação de indicadores da qualidade da água (SPERLING, 2007).

A modelagem de dados consiste em estabelecer hipóteses sobre a estrutura ou o sobre comportamento de um sistema físico e, por meio desses dados, explicar as propriedades do sistema e prever suas reações a estímulos (SPERLING, 2007). A modelagem da qualidade das águas superficiais traz como resultado um melhor conhecimento dos mecanismos e das interações que justificam os variados comportamentos dessa qualidade e constitui uma base racional para a tomada de decisões quanto ao controle qualitativo dos recursos hídricos (SPERLING, 2007).

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (RNA)

A modelagem por Redes Neurais Artificiais (RNA) oferece vantagens como a capacidade de aproximar funções não lineares e pode, por meio do treinamento, modelar o sistema mediante relações entre os valores numéricos de entrada e saída (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). Por definição, RNA é o nome dado ao conjunto de métodos matemáticos e algoritmos computacionais desenvolvidos no sentido de simular o processamento de informação e aquisição do conhecimento pelo cérebro humano (HAYKIN, 2001). As RNA possuem arquiteturas paralelas, operando com algoritmos destinados ao processo de aprendizagem e exigindo alta capacidade de processamento (SILVA; SPATTI; FLAUZINO, 2010). A arquitetura da RNA é definida pelo número de camadas (podendo ser camada única ou múltiplas camadas), número de neurônios em cada camada, tipo de conexão entre neurônios e sua topologia. O algoritmo *Back Propagation* (BP) é um algoritmo de treinamento que, por operar em redes de neurônios multicamadas e se comportar bem com problemas e dados não lineares, foi utilizado neste trabalho. O treinamento de uma rede neural multicamada envolve três etapas: (1) a propagação do sinal de entrada (dados de calibração) através da rede; (2) a pós-propagação do erro associado e (3) o ajuste de peso sináptico. O processo de aprendizado supervisionado da RNA resulta no ajuste dos pesos de tal forma que o valor de saída da rede seja o mais próximo possível do valor desejado (SILVA; SCHIMIDT, 2016).

A rede neural *Extreme Learning Machine* (ELM) é uma rede do tipo alimentação direta (*feed forward*), utilizada para modelos de classificação ou regressão

com uma única camada de neurônios ocultos, em que os pesos são atribuídos aleatoriamente e não sofrem ajuste como é feito nas RNA *Back Propagation* e *Levenberg-Marquardt* (HUANG; ZHU; SIEW, 2006). Esses pesos são ajustados para o conjunto de calibração em um único passo, o que basicamente equivale a aprender um modelo linear.

ALGUMAS APLICAÇÕES AMBIENTAIS DE RNA

Vários estudos usaram RNA para pesquisas sobre recursos hídricos e ambientais. A implementação de uma rede neural com algoritmo de *Back Propagation* para prever os níveis de água do Rio Paraguai, em Ladário/MS, pode ser observada em Weigang *et al.* (1998). Os autores justificam a escolha da RNA afirmando que a análise de séries temporais requer representações mais robustas das funções não lineares.

Um aspecto importante para o uso de RNA em processos hidrológicos é o fato de que o modelo permite resolver sistemas mal definidos matematicamente, como demonstraram Palani, Liong e Tkalich (2008). Esses autores criaram modelos de previsão de variáveis para medição de qualidade de água para rios em Singapura.

O treinamento de uma RNA usando 120 amostras aplicadas para prever a vazão do Rio Piancó pode ser encontrado em Sousa e Sousa (2010). Singh *et al.* (2009) estudaram modelos de previsão de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido em rios na Índia com diferentes RNA, obtendo erros baixos de previsão.

O uso de RNA para aplicações em recursos hídricos pode ser encontrada em Maier *et al.* (2010), que fizeram uma revisão bastante completa de trabalhos, reiterando que essas aplicações raramente possuem grandes quantidades de dados disponíveis, devido à dificuldade de obtenção dos dados, ao alto custo e à falta de automação na coleta. No entanto, os autores apontaram que essas aplicações exigem métodos de análise cada vez mais sofisticados, o que incentiva o uso de RNA. Esse uso pode ser aplicado para criar um modelo de DBO a partir de 8 parâmetros de entrada do Rio Melen na Turquia, o que pode ser visto em Dogan, Sengorur e Koklu (2009). Nessa pesquisa, as técnicas de sensibilidade de dados são usadas para escolher quais os parâmetros de entrada são os mais significativos.

A previsão de concentrações de oxigênio dissolvido em água bruta do Rio Paraíba do Sul (SP) foi estudada por Silva e Schimidt (2016), que estudaram a aplicação da análise de componentes principais (PCA) aos parâmetros físico-químicos de análise de água (dados de entrada) utilizando redes BP. Verificou-se que o uso de PCA nos dados de entrada melhora o erro de previsão das RNA.

PARTE EXPERIMENTAL

Este trabalho foi feito usando dois algoritmos de redes neurais *Back Propagation* (BP) e *Levenberg-Marquardt* (LM) presentes na plataforma Matlab (Mathworks Inc., USA) versão R2015a e também o algoritmo *Extreme Learning Machine* (ELM), disponível

para download em Huang (2017) na mesma plataforma. Os dados de análise de água foram obtidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) para o Rio Piracicaba, ponto amostral PCAB 02800, localizado na cidade de Piracicaba/SP, entre janeiro de 1990 e dezembro de 2012, totalizando 147 amostras. Os nove parâmetros físico-químicos analisados em água bruta foram: temperatura da água, pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), concentração dos íons nitrato e nitritos, concentração total de fósforo, concentração total de amônia, concentração de nitrogênio Kjeldahl e concentração de oxigênio dissolvido (OD).

O índice de qualidade de água (IQA) foi calculado para cada amostra (CETESB, 2017). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta para o fornecimento público após o tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são, em sua maioria, indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Os parâmetros físico-químicos citados no parágrafo anterior são, na maior parte, multiplicados por um peso w_i . Além deste peso (w_i), cada parâmetro possui um valor de qualidade (q_i), obtido de acordo com a sua função matemática (relação gráfica) relativa à sua medida ou à sua concentração. O cálculo do IQA é feito através do produto de parâmetros ponderados de acordo com esta equação (CETESB, 2017):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

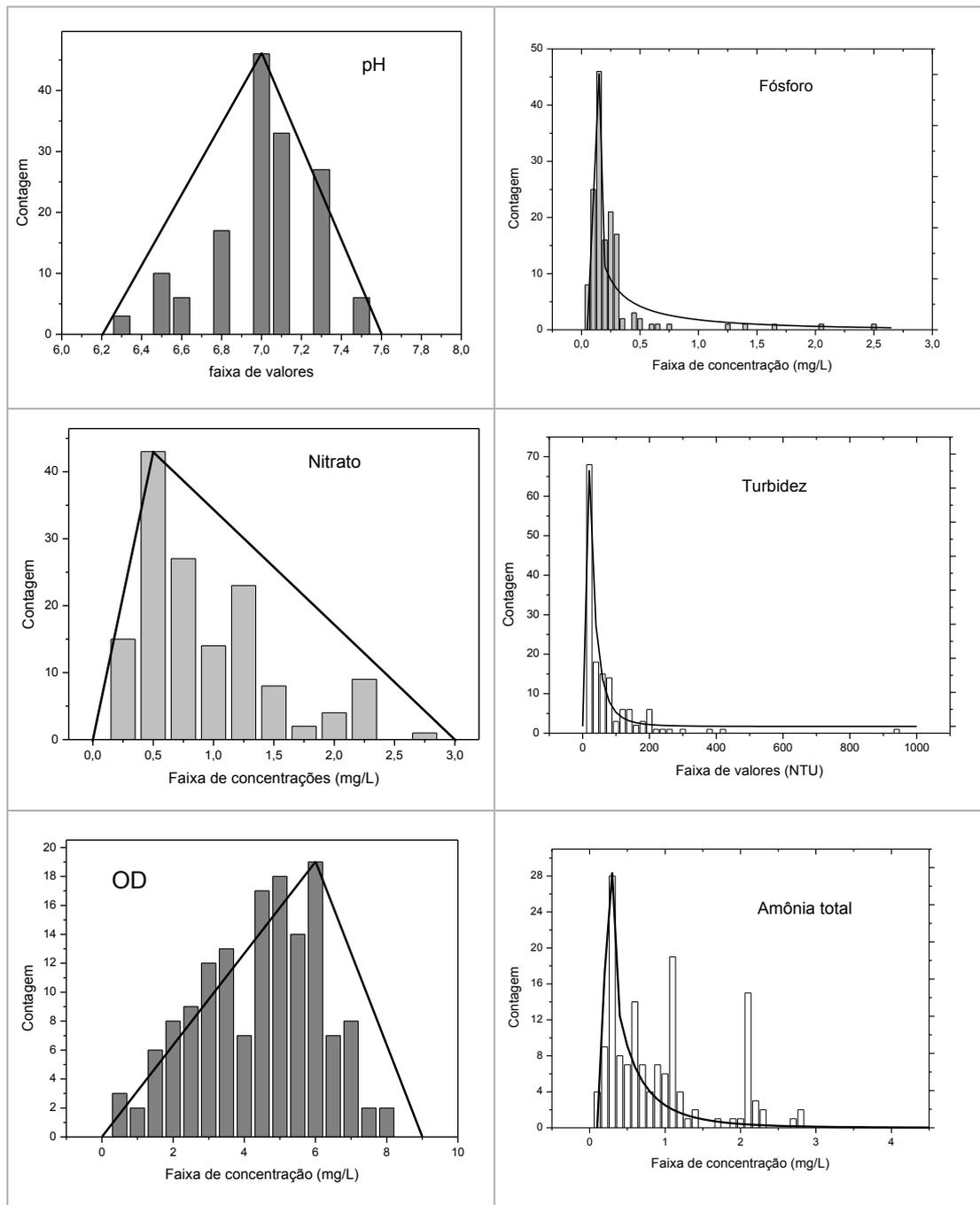
Em que IQA é um número entre 0 e 100; q_i é a qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido de uma função matemática específica (CETESB, 2017), dependendo da sua concentração ou da medida realizada; w_i é o peso correspondente ao i -ésimo parâmetro ajustado de acordo com sua importância para a conformação global de qualidade, ou seja, um número entre 0 e 1, dado que o somatório de w_i é igual a 1, e n é o número de parâmetros físico-químicos que participam do cálculo do IQA.

A entrada da rede neural compõe-se de todos os valores dos referidos parâmetros físico-químicos adicionados ao IQA, à exceção do OD, que é usado como parâmetro de saída da rede neural. As 600 amostras foram geradas pela Simulação de Monte Carlo (parâmetros físico-químicos e IQA) por meio do software *Risk Analyzer* (ADD-INS, 2018). O processo de simulação utilizou funções densidade de probabilidade, calculadas para cada parâmetro físico-químico, durante o período de análise da água bruta pela Cetesb entre janeiro de 1990 e dezembro de 2012, gerando uma distribuição de ocorrências de valores. Os valores característicos são gerados mediante funções estocásticas com o uso de números aleatórios (obtidos randomicamente) em referência aos resultados das análises de água (MARK; MORDECHAI, 2011; THOMOPOULOS, 2013). Essas funções estocásticas são construídas e ajustadas com base na ocorrência (contagem) dos resultados numéricos de cada parâmetro físico-químico analisado, no período de tempo citado anteriormente (Figura 1). Cada parâmetro

analisado gera uma distribuição de valores que podem ser ajustados com uma função densidade de probabilidade específica. Neste trabalho, foram gerados 600 resultados.

Foi também aplicada a Análise de Componentes Principais – do inglês *Principal Component Analysis* (PCA) – a todos os dados de entrada com (primeiro caso) e sem (segundo caso) as amostras geradas pela SMC. No primeiro caso, foram utilizadas 724 amostras (600 geradas + 124 originais) para calibração e 23 amostras originais para validação; no segundo caso, foram 124 amostras para calibração e as mesmas 23 para validação.

FIGURA 1 - FUNÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE AJUSTADAS PARA OS SEIS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS



Nota: Os parâmetros Nitrato, OD e pH usaram funções triangulares e os parâmetros turbidez, amônia total e fósforo usaram funções log-normal.

Em ambos os casos, o número de componentes principais escolhido foi seis, com 97% de variância total. O erro quadrático médio – em inglês *Root Mean Square* (RMS) – foi calculado para cada configuração de rede neural (cada algoritmo) com a adição de neurônios nas camadas intermediárias. Para os três algoritmos utilizados, os resultados sem a aplicação de PCA aos dados de entrada produziram erros RMS mais altos do que os resultados com a utilização do PCA (SILVA; SCHIMIDT, 2016).

Em geral, o desenvolvimento experimental da RNA obedece aos seguintes passos: (1) obtenção dos dados; (2) separação dos conjuntos de calibração (treinamento) e validação; (3) ajuste da configuração da rede; (4) treinamento; (5) verificação do erro RMS. Desse modo, os dados de análise de água são divididos em dois grupos: um grupo destinado ao treinamento da rede neural (70% dos dados) e outro destinado à validação da rede (30% dos dados), que é composto pelo cálculo do erro RMS:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que y_i é a saída calculada pela RNA; \hat{y}_i é o valor real (resultado previsto); n é o número de amostras usadas para a previsão da RNA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

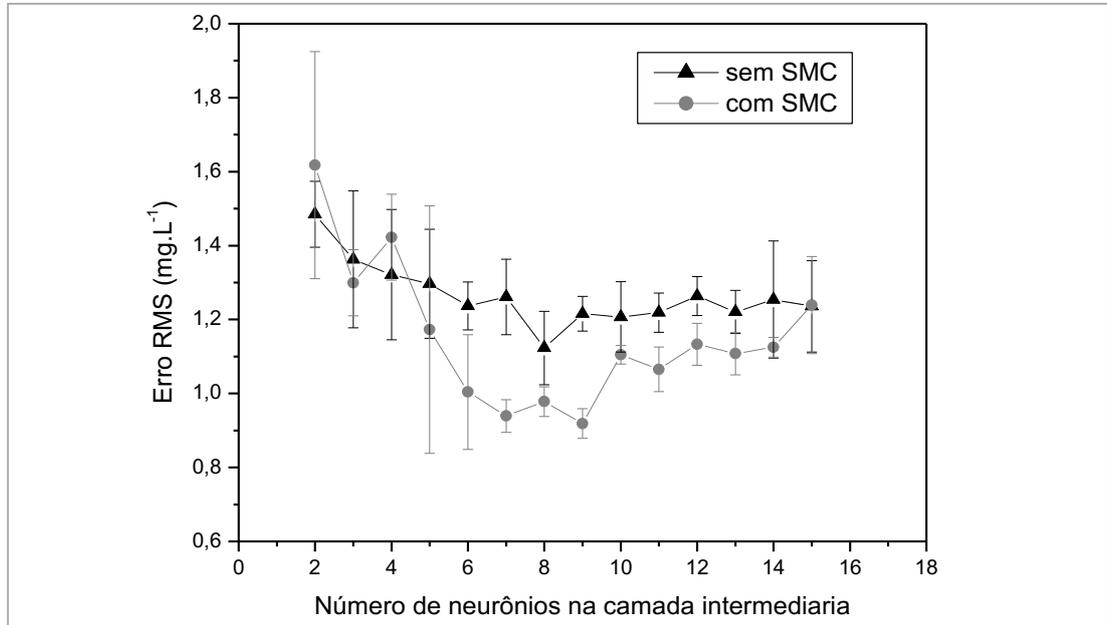
O conjunto de dados foi aplicado à RNA ELM e sua configuração está mostrada na Figura 2. Cada algoritmo (com e sem SMC) é iniciado com dois neurônios na camada intermediária (também conhecida como “camada escondida”); depois, é feito o treinamento da rede e o erro RMS é calculado para o conjunto de validação. Esse procedimento é repetido outras duas vezes e, então, o erro médio é registrado. Cada ponto mostrado na Figura 2 representa a média de três procedimentos de calibração. O número de neurônios vai aumentando até um máximo de quinze para essa RNA. A melhor configuração encontrada (ponto mais baixo da curva – menor erro) sem o uso da SMC (6-8-1) possui um erro RMS de 1,03 mg/L, ao passo que a melhor configuração encontrada com SMC (6-9-1) mostrou um erro RMS de 0,889 mg/L.

Os resultados da aplicação da RNA LM são apresentados na Figura 3. Cada configuração do algoritmo (com e sem aplicação da SMC) inicia com dois neurônios na camada intermediária; depois, o procedimento de treinamento é aplicado e o erro RMS é calculado para o conjunto de validação. Esse procedimento é realizado outras duas vezes. O erro médio e a barra de desvio padrão estão mostrados na Figura 3. A melhor configuração sem SMC (6-5-1) obteve um erro RMS de 1,46 mg/L, e a melhor configuração com SMC (6-2-1) mostrou um erro RMS de 1,12 mg/L.

Os resultados da aplicação da RNA BP são expostos na Figura 4. Novamente, da mesma maneira que os anteriores, o algoritmo inicia com dois neurônios na camada intermediária (com e sem SMC). Após, o procedimento de treinamento é aplicado,

e o erro RMS é anotado para o conjunto de validação. A melhor configuração sem SMC (6-6-1) mostrou um erro RMS de 1,55 mg/L, enquanto a melhor configuração com SMC (6-6-1) obteve um erro de 1,17 mg/L.

FIGURA 2 - VARIAÇÃO DO ERRO RMS ENTRE AS ARQUITETURAS DAS RNA ELM COM E SEM SMC



Esse procedimento de aumento gradual do número de neurônios na camada intermediária e de avaliação do erro é feito para todas as redes neurais e serve para prevenir os estados de subajuste (*underfitting*) e superajuste (*overfitting*), que ocasionam altos erros de previsão prejudicando o modelo. Dessa forma, esse procedimento permite a escolha da configuração ideal para cada RNA.

FIGURA 3 - VARIAÇÃO DO ERRO RMS ENTRE AS ARQUITETURAS DAS RNA LM COM E SEM SMC

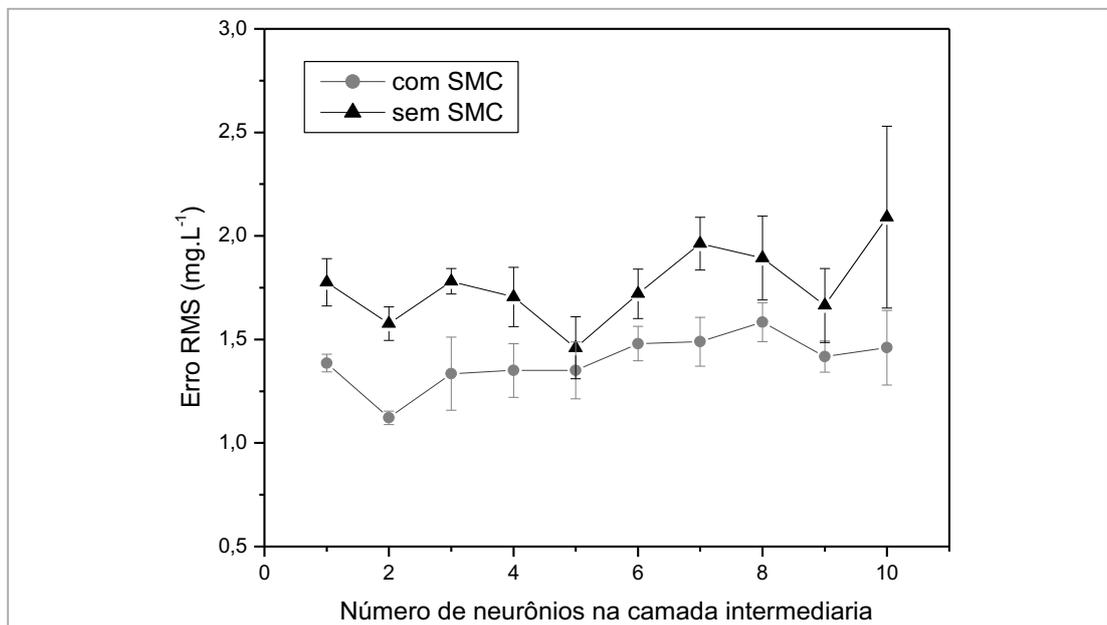
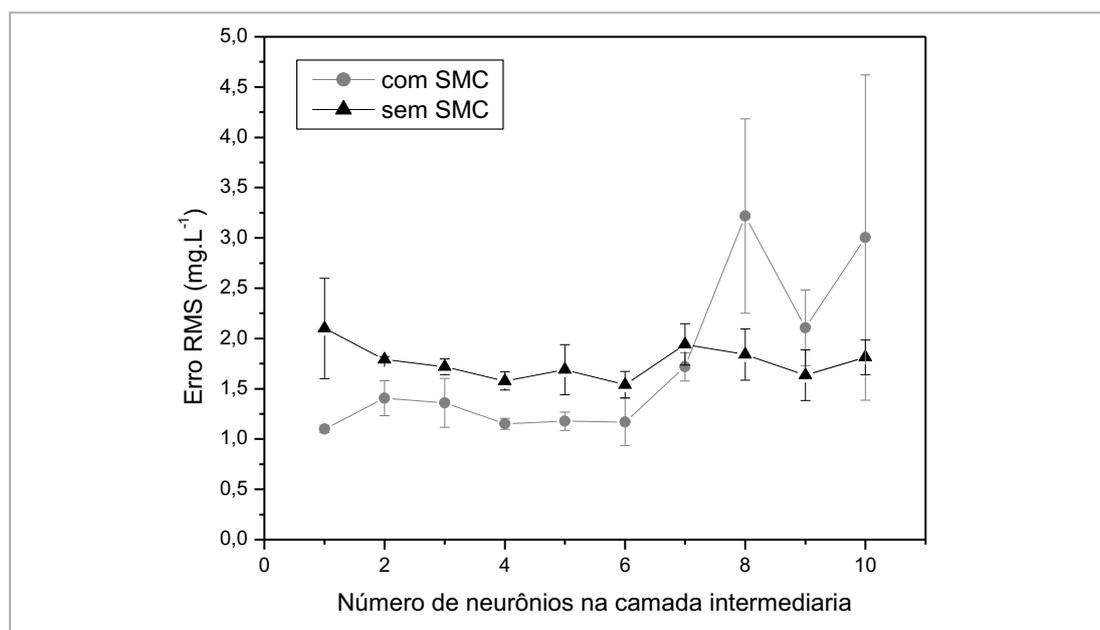


FIGURA 4 - VARIAÇÃO DO ERRO RMS ENTRE AS ARQUITETURAS DAS RNA BP COM E SEM SMC

Todas as RNA utilizadas neste trabalho mostraram um erro RMS mais baixo na melhor configuração (menor erro) quando foi aplicado o conjunto de dados gerados pela Simulação de Monte Carlo (SMC), o que pode ser observado nos gráficos com a disposição das linhas cinza, em geral em posição inferior à das linhas pretas.

O melhor desempenho com a SMC foi confirmado por um Teste t pareado ($t = 3,21817$ e $p = 0,00396$ com 95% de confiança) entre os valores médios de OD calculados para os conjuntos de validação e de saída da rede neural ($N = 23$) para as redes com e sem SMC, considerando o algoritmo ELM, o qual apresentou o menor erro de previsão RMS entre os três algoritmos RNA testados (0,889 mg/L).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As redes neurais têm se mostrado bastante eficientes na construção de modelos ambientais multivariados devido à sua robustez e à sua capacidade de adaptação aos diferentes tipos de dados usados. Como os dados ambientais são altamente não lineares, as redes neurais conseguem modelá-los mais facilmente que outros tipos de modelos.

Este trabalho mostra um uso promissor da Simulação de Monte Carlo (SMC) para a construção de modelos com dados de análise de água bruta, que muitas vezes são escassos ou incompletos, o que compromete a interpretação desses modelos e de suas aplicações. O melhor resultado obtido pela rede neural ELM com a simulação mostrou uma diferença estatisticamente significativa (95% de confiança) em relação ao resultado sem a simulação.

Logo, a SMC funcionará muito bem desde que haja uma boa distribuição das variáveis a serem estudadas, com valores representativos ao longo de toda a faixa, com limites máximos, médios e mínimos bem definidos.

AGRADECIMENTOS

À Cetesb – Sistema Infoáguas pelo uso dos dados de análise de água do Rio Piracicaba e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação do IFG (Edital n. 6/2014 PROAPP) pela aquisição da licença individual do software Matlab.

REFERÊNCIAS

- ADD-INS. *Monte Carlo Simulations*. Disponível em: <https://www.add-ins.com/analyzer/>. Acesso em: 20 jan. 2018.
- BAIRD, Colin. *Química ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). *Índice de Qualidade das Águas*. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Apêndice-D-Índices-de-Qualidade-das-Águas.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- DOGAN, Emrah; SENGORUR, Bülent; KOKLU, Rabia. Modeling biological oxygen demand of the Melen River in Turkey using an artificial neural network technique. *Journal of Environmental Management*, Amsterdam, v. 90, p. 1229–1235, 2009.
- HAYKIN, Simon. *Redes neurais: princípios e prática*. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- HUANG, Guang-Bin; ZHU, Qin-Yu; SIEW, Chee-Kheong. Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, Amsterdam, v. 70, p. 489–501, 2006.
- HUANG, Guang-Bin. *Extreme Learning Machine*. Disponível em: http://www3.ntu.edu.sg/home/egbhuang/elm_codes.html. Acesso em: jan. 2018.
- MAIER, Holger R.; JAIN, Ashu; DANDY, Graeme C.; SUDHEER, K. P. Methods used for the development of neural networks for the prediction of water resource variables in river systems: current status and future directions. *Environmental Modelling & Software*, Amsterdam, v. 25, p. 891–909, 2010.
- MARK, Shlomo; MORDECHAI, Shaul. *Applications of Monte Carlo method in Science and Engineering*. Rijeka, Croatia: InTech Open, 2011.
- PALANI, Sundarambal; LIONG, Shie-Yui; TKALICH, Pavel. An ANN application for water quality forecasting. *Marine Pollution Bulletin*, Amsterdam, v. 56, p. 1586–1597, 2008.
- ROCHA, Julio C.; ROSA, André H.; CARDOSO, Arnaldo A. *Introdução a química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- SILVA, Ivan N.; SPATTI, Danilo H.; FLAUZINO, Rogério A. *Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas*. São Paulo: Artliber, 2010.
- SILVA, Saulo R.; SCHIMIDT, Fernando. Redução de variáveis de entrada de redes neurais artificiais a partir de dados de análise de componentes principais na modelagem de oxigênio dissolvido. *Química Nova*, São Paulo, v. 39, n. 3, p. 273–278, 2016.
- SINGH, Kunwar P.; BASANT, Ankita; MALIK, Amrita; JAIN, Gunja. Artificial neural network modeling of the river water quality: a case study. *Ecological Modelling*, Amsterdam, v. 220, p. 888–895, 2009.
- SOUSA, Wanderson dos S.; SOUSA, Francisco de A. S. Rede neural artificial aplicada à previsão de vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Pianco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 173–180, 2010.

SPERLING, Marcos Von. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

THOMOPOULOS, Nick T. *Essentials of Monte Carlo Simulation*. New York, USA: Springer Science & Business Media, 2013.

WEIGANG, Li; ABREU, Leonardo D.; GALVÃO, Geraldo P.; BEVILAQUA, Rute M. Prediction of the level of Paraguay River using neural networks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, Número Especial, p. 1791–1797, 1998.



Geoinformação definindo prioridades em planejamentos públicos de conservação de espécies

FRANCIELE FATH
LARA GOMES CÔRTEZ
NATHÁLIA MACHADO E SOUSA
VIVIAN MARA UHLIG

A biologia da conservação é uma área de conhecimento multidisciplinar que surgiu com o objetivo de enfrentar a crise de biodiversidade atual, caracterizada pela elevada taxa de extinção de espécies (SOULÉ, 1985). Essa ciência estuda o impacto das atividades antrópicas sobre a biodiversidade e busca desenvolver técnicas que minimizem a perda de espécies nos ecossistemas, porém muitas decisões são tomadas com algum grau de incerteza, devido à quantidade de fatores envolvidos e ao escasso conhecimento sobre as questões em causa (PRIMACK; RODRIGUES, 2001).

Com o intuito de aumentar a capacidade de análise da grande quantidade de dados existentes sobre as espécies e as ameaças antrópicas, visando à geração da melhor informação disponível, os profissionais da área da biologia da conservação têm utilizado cada vez mais ferramentas que permitem espacializar o conhecimento no território. O uso dessas ferramentas também é crescente na gestão ambiental pública, pois elas facilitam o planejamento de ações de conservação, sintetizando os dados de maneira robusta e, geralmente, com baixo custo.

Entre essas ferramentas o geoprocessamento possui destaque por permitir uma grande amplitude de usos no setor público ambiental. Observa-se um aumento de utilização dessa técnica no planejamento ambiental e na gestão de territórios, nos quais é empregada na análise de um conjunto de dados já existentes a fim de gerar uma informação relevante para um determinado objetivo (SILVA, 2009). Instituições governamentais ambientais constantemente lidam com desafios associados ao planejamento de gestão de territórios, que requer o estudo de uma grande quantidade de dados de maneira especializada para subsidiar decisões quanto a ações mais urgentes ou com maior potencial de contribuição para a conservação de espécies e ecossistemas. Nesse contexto, o geoprocessamento possibilita a transformação desses dados

em informações úteis que podem ser sobrepostas e ponderadas em análises multicritérios (HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011), o que facilita a visualização das variáveis em mapas e aumenta a segurança do planejamento e das ações.

Outra técnica com base científica na teoria de nicho ecológico que vem ganhando espaço nos planejamentos públicos é a modelagem de distribuição de espécies, a qual correlaciona o conjunto de ocorrências de uma determinada espécie com variáveis ambientais relevantes. Essa correlação no espaço ambiental é projetada para o espaço geográfico, permitindo prever a distribuição das espécies (PEARSON, 2007). Os modelos são feitos assumindo-se a premissa de que as espécies devem ocorrer em todas as áreas com condições ambientais similares aos registros de ocorrência conhecidos; como são especialmente úteis quando há lacunas de amostragem, têm sido bastante utilizados em pesquisas voltadas à conservação de espécies (FAGUNDES; VOGT; DE MARCO JUNIOR, 2015; FERRAZ *et al.*, 2012; PEARSON, 2007).

Ainda que os modelos de distribuição de espécies tragam consigo o potencial de melhorar o conhecimento limitado sobre as espécies, há constantes discussões metodológicas sobre critérios de modelagem mais adequados em modelos com finalidade de conservação (FERRAZ *et al.*, 2012; GUILLERA-ARROITA *et al.*, 2015). Apesar das limitações, o uso de modelos de distribuição de espécies em planejamentos de conservação pode trazer bons resultados se houver transparência em todas as etapas de decisão, sendo importante que os atores envolvidos participem do processo e entendam as consequências envolvidas nos critérios de modelagem escolhidos (GUISAN *et al.*, 2013).

Associada ao geoprocessamento e à modelagem de distribuição de espécies, outra metodologia científica do campo da biologia da conservação que tem sido fundamental para aprimorar instrumentos de políticas públicas é o planejamento sistemático de conservação (PSC), que possui premissas importantes, como a complementariedade e a representatividade, as quais objetivam selecionar áreas que complementem o sistema de áreas protegidas já existente, conservando também uma amostra de toda a biodiversidade (MARGULES; PRESSEY, 2000). O PSC possibilita identificar áreas prioritárias para conservação, que é um objetivo essencial para o setor ambiental que precisa gerenciar a destinação de recursos cada vez mais escassos e, simultaneamente, maximizar a proteção do meio ambiente.

No Brasil, dentre as várias políticas públicas e ações voltadas à conservação, podemos destacar os Planos de Ação Nacional para Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção (PAN). Esses planos são instrumentos de gestão construídos conjuntamente com a sociedade civil que enumeram ações para a conservação de espécies e ecossistemas (ICMbio, 2012). Nesse contexto, os Centros Nacionais de Pesquisa e Conservação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMbio) possuem como algumas de suas atribuições a coordenação e a elaboração dos PAN

voltados à conservação da fauna ameaçada de extinção. O Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios (RAN) é responsável pela configuração dos PAN que visam à conservação da herpetofauna ameaçada do Brasil e, ainda, pela implementação das ações propostas, fazendo também o monitoramento e as avaliações do andamento desses planos.

Recentemente, o PSC tem sido utilizado na definição de áreas prioritárias para conservação da flora (LOYOLA; MACHADO, 2015; MONTEIRO *et al.*, 2018). Em seus resultados, Monteiro *et al.* (2018), por exemplo, identificaram localidades com importância expressiva para a execução de ações do PAN a fim de conservar a flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional (POUGY *et al.*, 2015). Contudo, vale ressaltar que esses estudos voltados para a flora utilizaram uma abordagem de priorização espacial considerando cada ameaça à biodiversidade de maneira individualizada, diferindo do que é realizado para os PAN da herpetofauna, nos quais as atividades antrópicas são analisadas em conjunto.

Assim, o presente trabalho se propôs a aprimorar um instrumento de planejamento público ambiental por meio de técnicas da biologia da conservação capazes de produzir geoinformação que pode auxiliar a tomada de decisões. Como estudo de caso, definimos áreas estratégicas (AE) no PAN da herpetofauna da Serra do Espinhaço, com o fim de facilitar a identificação de ações prioritárias e direcionar recursos limitados para localidades que contemplam uma maior proporção das espécies-alvo, buscando melhorar o estado de conservação dos répteis e anfíbios que ocorrem nessa região.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O limite da área de estudo é definido pela abrangência da unidade de relevo denominada Serra do Espinhaço, a qual se estende pelos estados de Minas Gerais e da Bahia, correspondendo à extensão geográfica do próprio Plano de Ação Nacional para a Conservação de Répteis e Anfíbios Ameaçados de Extinção na Serra do Espinhaço (PAN Herpetofauna da Serra do Espinhaço), conforme a Portaria ICMBio n. 109, de 16 de dezembro de 2016. Sua extensão aproximada é de 1.500 km e sua área é de 123.349,43 km². Esse PAN localiza-se na interseção de três biomas brasileiros: a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga.

PLANEJAMENTO SISTEMÁTICO DA CONSERVAÇÃO

O Planejamento Sistemático da Conservação (PSC) é uma metodologia que quantifica o valor de conservação e identifica áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade (MARGULES; PRESSEY, 2000), podendo incluir aspectos políticos, econômicos e biológicos em análises que buscam conciliar os usos conflitantes de uma determinada paisagem (MOILANEN *et al.*, 2011).

Para as análises de priorização do presente estudo, foi utilizado o programa *Zonation* (versão 4.0), uma ferramenta de priorização espacial que analisa um conjunto de informações de biodiversidade e busca encontrar boas soluções de conservação (MOILANEN *et al.*, 2005). O valor de conservação das unidades de planejamento (UP) é calculado de acordo com a regra de remoção, por meio de informações em arquivos matriciais provenientes do geoprocessamento de dados existentes. Assim, a partir do valor de conservação, é possível classificar a paisagem de forma hierárquica (MOILANEN *et al.*, 2005). No presente estudo, a regra de remoção utilizada foi a *core área*, em que o valor de conservação de cada unidade de planejamento da célula é definido pela espécie que seria mais prejudicada pela retirada dessa célula (LEHTOMÄKI; MOILANEN, 2013). Desse modo, o produto gerado possibilita a identificação de áreas estratégicas, que correspondem às unidades de planejamento com maior valor de conservação, classificadas, portanto, como aquelas com maior prioridade.

Com o intuito de que as áreas selecionadas como estratégicas tivessem limites conhecidos e/ou características ambientais semelhantes, optamos por realizar as análises em unidades de planejamento que representassem os limites geográficos de bacias hidrográficas. Para isso, utilizamos os polígonos das ottobacias de nível 5 (ANA, 2006).

Todos os procedimentos de elaboração dos arquivos matriciais foram realizados em programas do Sistema de Informações Geográficas. Padronizamos todos os dados para o sistema de coordenadas geográficas utilizando o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000.

ALVOS DE CONSERVAÇÃO

Os alvos de conservação fornecem um meio quantitativo de medir o valor de conservação de cada unidade de planejamento para os objetivos definidos, com a construção de um modelo ecológico por meio de pesos para cada alvo (LEHTOMAKI; MOILANEN, 2013; MARGULES; PRESSEY, 2000) spatially explicit conservation actions. Specifically, we propose seven steps: (i. Em nossa análise, os alvos são as 28 espécies da herpetofauna contempladas pelo PAN Herpetofauna da Serra do Espinhaço, conforme a Portaria ICMBio n. 109, de 16 de dezembro de 2016 (ICMBIO, 2016b).

A distribuição espacial das espécies foi representada por modelos de distribuição de espécies ou pela proporção dos registros de ocorrência por unidade de planejamento (nos casos em que as espécies possuíam menos de quatro registros de ocorrência). Esses registros são provenientes da base de dados RAN/ICMBio. Para a modelagem de distribuição, foram utilizadas as variáveis climáticas selecionadas a partir do resultado de uma análise fatorial realizada com dezenove variáveis ambientais e uma variável topográfica do período atual (resolução espacial de cinco arcos de minutos, base de dados *WorldClim* (2017).

Os modelos de distribuição foram gerados utilizando os pacotes *dismo* (HIJMANS *et al.*, 2015) e *mgcv* (WOOD, 2001) do programa R (R Core Team 2015).

Entre os algoritmos implementados nesses pacotes, foram escolhidos os seguintes: SVM (*Support Vector Machines*), GAM (*Generalized Additive Models*) e RF (*Random Forest*). Os modelos foram calibrados com 75% dos dados para treino e 25% para teste e seus desempenhos foram avaliados utilizando o teste *True Skill Statistic* (TSS), conforme Allouche, Tsoar e Kadmon (2006). A escolha do modelo para representar a distribuição de cada espécie foi feita pelo valor de TSS e/ou pela validação realizada pelos pesquisadores parceiros do PAN, que são especialistas nos grupos taxonômicos alvos da análise.

PESOS

O peso atribuído aos alvos de conservação afeta a ordem em que as unidades de planejamento são removidas, uma vez que faz parte da equação que determina o valor de conservação das unidades que representam a paisagem. Desse modo, o peso das espécies foi calculado a partir da soma dos valores dos seguintes critérios: (1) proporção da extensão de ocorrência (EOO)¹ dentro do PAN; (2) proporção da EOO fora das unidades de conservação (UC); (3) categoria de risco de extinção nacional; (4) endemismo no Brasil. Esses critérios foram somados para gerar o peso da espécie (Quadro 1). As espécies que receberam maior peso foram aquelas com maior proporção da distribuição dentro do PAN, com baixa representação nas UC, com maior risco de extinção e com ocorrência restrita ao Brasil.

QUADRO 1
CRITÉRIOS E VALORES DEFINIDOS PARA O PESO DAS ESPÉCIES NA ANÁLISE DE PRIORIZAÇÃO ESPACIAL

CRITÉRIOS	VALORES*		
Proporção da EOO da espécie dentro do PAN	Variam de 1 a 0		
Proporção da EOO da espécie fora das UC	Variam de 1 a 0		
Peso de risco de extinção	CR: 1 EN: 0.8	VU: 0.5 NT: 0.3	DD: 0.2 LC: 0
Endêmica do Brasil	Sim: 0.1 Não: 0		

Fonte: Elaborado pelas autoras.

* As siglas em inglês correspondem à categoria de risco de extinção das espécies, sendo: CR (criticamente em perigo), EN (em perigo), VU (vulnerável), NT (quase ameaçada), LC (menos preocupante) e DD (dados insuficientes).

CONDIÇÃO DA PAISAGEM

A condição da paisagem indica a qualidade ou a disponibilidade de habitat para as espécies. Na análise do *Zonation*, essa função é representada por um arquivo matricial

1 A extensão de ocorrência é definida pela União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN, sigla em inglês de International Union for Conservation of Nature) como a área contida dentro do menor limite traçado para englobar todos os registros de ocorrência conhecidos, inferidos ou projetados da presença atual de um táxon (IUCN, 2017).

que multiplica os arquivos das espécies durante a análise, reduzindo os valores de adequabilidade em áreas onde o habitat está deteriorado (MOILANEN *et al.*, 2014). Quanto maior o valor de condição de paisagem, mais preservada a unidade de planejamento está.

Na elaboração da variável “condição da paisagem”, foram identificadas as ameaças antrópicas citadas nas fichas de avaliação do estado de conservação² das espécies e/ou nas ações do PAN. Após o geoprocessamento, foram utilizadas as variáveis passíveis de espacialização (Quadro 2). Cada variável foi transformada em uma camada matricial. Além disso, foram incluídas variáveis relacionadas à persistência e à disponibilidade de habitat como os remanescentes de vegetação natural. As políticas públicas já existentes também foram consideradas, como as áreas prioritárias para criação de UC de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2007).

A camada final de condição da paisagem foi formada pela sobreposição por média ponderada das camadas matriciais que representam as variáveis. Os pesos das variáveis estão descritos no Quadro 2 e foram definidos de acordo com a frequência em que foram citados nas fichas de avaliação do estado de conservação da fauna.

QUADRO 2

VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA ELABORAÇÃO DO ARQUIVO DA CONDIÇÃO DA PAISAGEM, FREQUÊNCIA NAS FICHAS DAS ESPÉCIES, PESO PARA GERAR O ARQUIVO, CARACTERÍSTICAS E FONTE DOS DADOS

VARIÁVEIS	FREQUÊNCIA	PESO	CARACTERÍSTICA DOS DADOS UTILIZADOS	FONTE*
Agropecuária futura (2030)	13	0.0773	Seleção das categorias relacionadas à agropecuária de um arquivo <i>raster</i>	Soares-Filho <i>et al.</i> (2016)
Agropecuária presente (2013)		0.2321		
Urbanização	3	0.0714	Polígonos das regiões urbanas	IBGE (2010)
Queimadas	12	0.2857	Buffer de 3 km nos focos de calor do período entre 2007 e 2016	Inpe (2017)
Hidrelétricas	3	0.0714	Buffer da área do reservatório da hidrelétrica, estimado pelo nível de água máximo dos reservatórios	Aneel (2016)

(continua)

² São avaliações realizadas por especialistas dos grupos taxonômicos alvo que utilizam os critérios de definição de risco de extinção da IUCN para categorizar as espécies quanto ao seu estado de conservação. Como resultado dessa avaliação, obteve-se a produção de uma ficha com informações de distribuição, ameaças antrópicas, história natural e políticas de conservação para cada espécie. Posteriormente, os resultados das avaliações subsidiam a publicação da lista de espécies ameaçadas de extinção do país. É possível acessar a lista das espécies ameaçadas e a ficha de cada espécie no website do ICMBio (2017).

VARIÁVEIS	FREQUÊNCIA	PESO	CARACTERÍSTICA DOS DADOS UTILIZADOS	FONTE*
Assentamentos	1	0.0238	Polígonos com a delimitação dos assentamentos em território nacional	Incra (2017)
Poluição	1	0.0238	Indicadores sociais municipais	IBGE (2013)
Empreendimentos viários	2	0.0476	Buffer de 1 km das linhas na malha ferroviária federal Buffer de 2 km das linhas nas rodovias estaduais e rodovias federais	DNIT (2016)
Mineração	5	0.1190	Polígonos das áreas atuais em atividade de mineração com exceção das fases de disponibilidade e requerimento de pesquisa	DNPM (2017)
Parques eólicos	1	0.0238	Polígonos com delimitação das regiões de interferência dos parques eólicos do Brasil	Aneel (2017)
Áreas indígenas	1	0.0238	Polígonos com a delimitação das terras indígenas	Funai (2017)
Remanescentes de vegetação natural	*	1.000	Polígonos dos remanescentes de vegetação natural e corpos d'água	Inpe (2015) SOS MA (2014) Ibama (2014)
Áreas prioritárias	*	0.0238	Polígonos das áreas prioritárias com classificação de ações para criação de unidades de conservação	BRASIL (2007)

(conclusão)

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Notas:

* Variáveis relacionadas à conservação das espécies.

** Todas as fontes de dados governamentais estão disponíveis nos sites oficiais.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ESTRATÉGICAS (AE)

As classes que descrevem o grau de prioridade das áreas estratégicas (AE) levam em consideração a complementariedade ao sistema de áreas protegidas já existente, ou seja, todas as UC fazem parte da solução final. As UC representam 25% da área do PAN e as AE são compreendidas por 17% das áreas mais importantes além das células com UC, totalizando 42% da área do PAN. Desse modo, são adicionadas novas áreas prioritárias para ações de conservação ao sistema das UC. É importante ressaltar, contudo, que o objetivo da seleção de tais áreas não é apenas a criação de áreas protegidas. Possibilita-se uma diversidade de ações de conservação, como pesquisa científica, restauração de áreas degradadas e combate a incêndios florestais. A Figura 1 apresenta um resumo das etapas metodológicas deste trabalho.

FIGURA 1 - ETAPAS METODOLÓGICAS DA SELEÇÃO DAS ÁREAS ESTRATÉGICAS DO PAN HERPETOFAUNA DA SERRA DO ESPINHAÇO



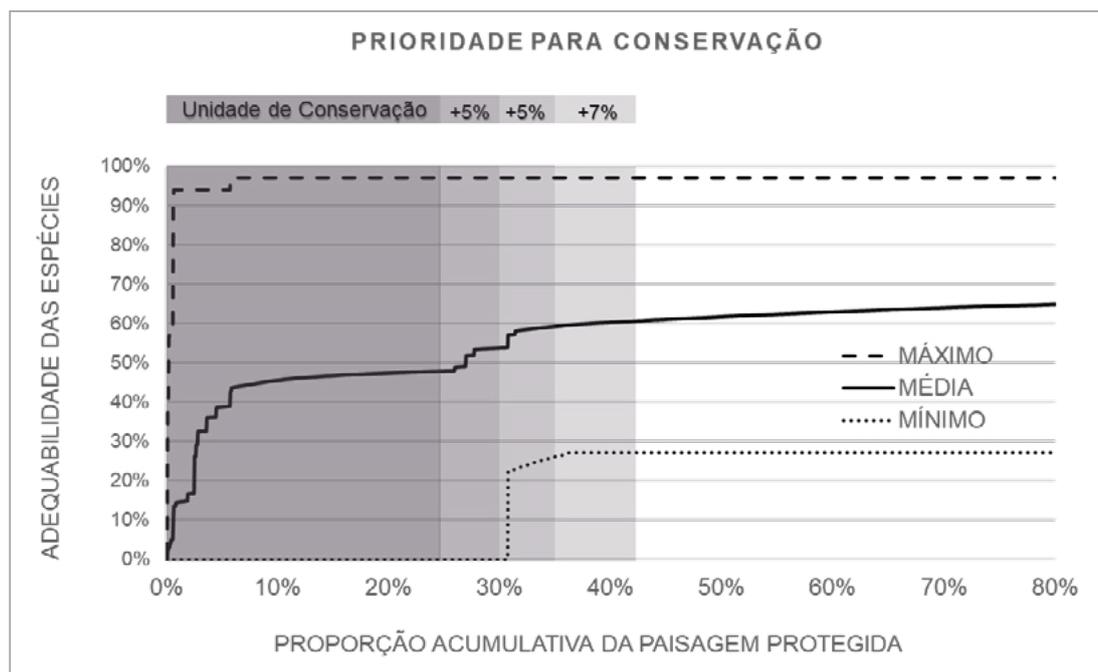
Fonte: Elaborada pelas autoras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

REPRESENTATIVIDADE DAS ESPÉCIES AMEAÇADAS NAS ÁREAS SELECIONADAS

De acordo com os resultados, as áreas estratégicas (AE), em conjunto com as unidades de conservação (UC), representam, em média, 60% da adequabilidade ambiental das espécies do PAN (Figura 2). O valor mínimo é de 27 % e o máximo é de 97% (Figura 3).

FIGURA 2 - PERFORMANCE DA ANÁLISE DO ZONATION PARA A PROPORÇÃO ACUMULATIVA DA PAISAGEM PROTEGIDA EM RELAÇÃO AOS VALORES MÉDIOS DA ADEQUABILIDADE DAS ESPÉCIES CONTEMPLADAS PELO PAN



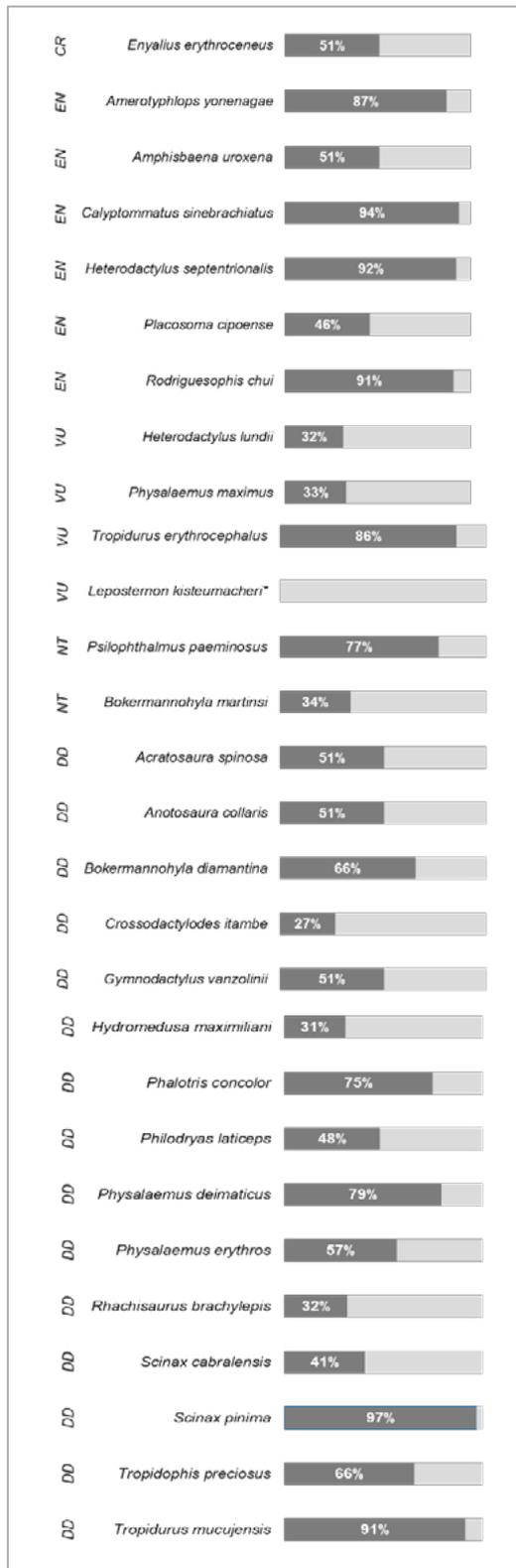
Nota: A faixa em cinza escuro representa as UC que ocupam 25% da paisagem, ao passo que as faixas subsequentes representam os valores acumulativos para atingir 42% da paisagem, que correspondem ao que é ocupado pelas AE.
Fonte: Elaborada pelas autoras.

Todas as espécies-alvo tiveram parte de sua distribuição contemplada nas AE selecionadas, com exceção da espécie *Leposternon kisteumacheri*. Ainda que não tenha sido representada, essa espécie faz parte do Plano de Ação Nacional para Conservação da Herpetofauna Ameaçada da Mata Atlântica Nordestina, conforme a Portaria ICMBio n. 38, de 23 de maio de 2016 (ICMBIO, 2016a), em que obteve 22% de sua adequabilidade ambiental abrangida pelas AE desse PAN. Assim, a espécie pôde ser beneficiada com ações de conservação em outro plano de ação, sendo atingido o objetivo geral de que sejam contempladas todas as espécies ameaçadas de cada PAN.

SELEÇÃO DE AE E FICHAS TÉCNICAS

A seleção de AE teve como produto dois importantes mapas com a espacialização das regiões abrangidas, o que facilitou o entendimento da situação e auxiliou as tomadas de decisão sobre as medidas de conservação. O primeiro mapa mostra a hierarquização das áreas em três níveis de importância: alta, muito alta e extremamente alta (Figura 4). Essa hierarquização traz indicativo de quais áreas necessitam de ações de conservação mais urgentes. Adicionalmente, as classes de prioridade correspondem respectivamente a 30% (5%+25% em UC), 35% (10%+25% em UC) e 42% (17%+25% em UC) das áreas mais importantes da paisagem. O segundo mapa define os limites de cada AE, agrupando, posteriormente, as áreas selecionadas em quatro regiões (Figura 5). Objetivou-se juntar áreas pertencentes às mesmas bacias hidrográficas e/ou grupos de vegetação, que também serviram para nomear as AE.

FIGURA 3 - ADEQUABILIDADE AMBIENTAL DAS ESPÉCIES DO PAN HERPETOFAUNA DA SERRA DO ESPINHAÇO PARA A PROPORÇÃO DE 42% (17%+25% UC*) DA PAISAGEM PROTEGIDA

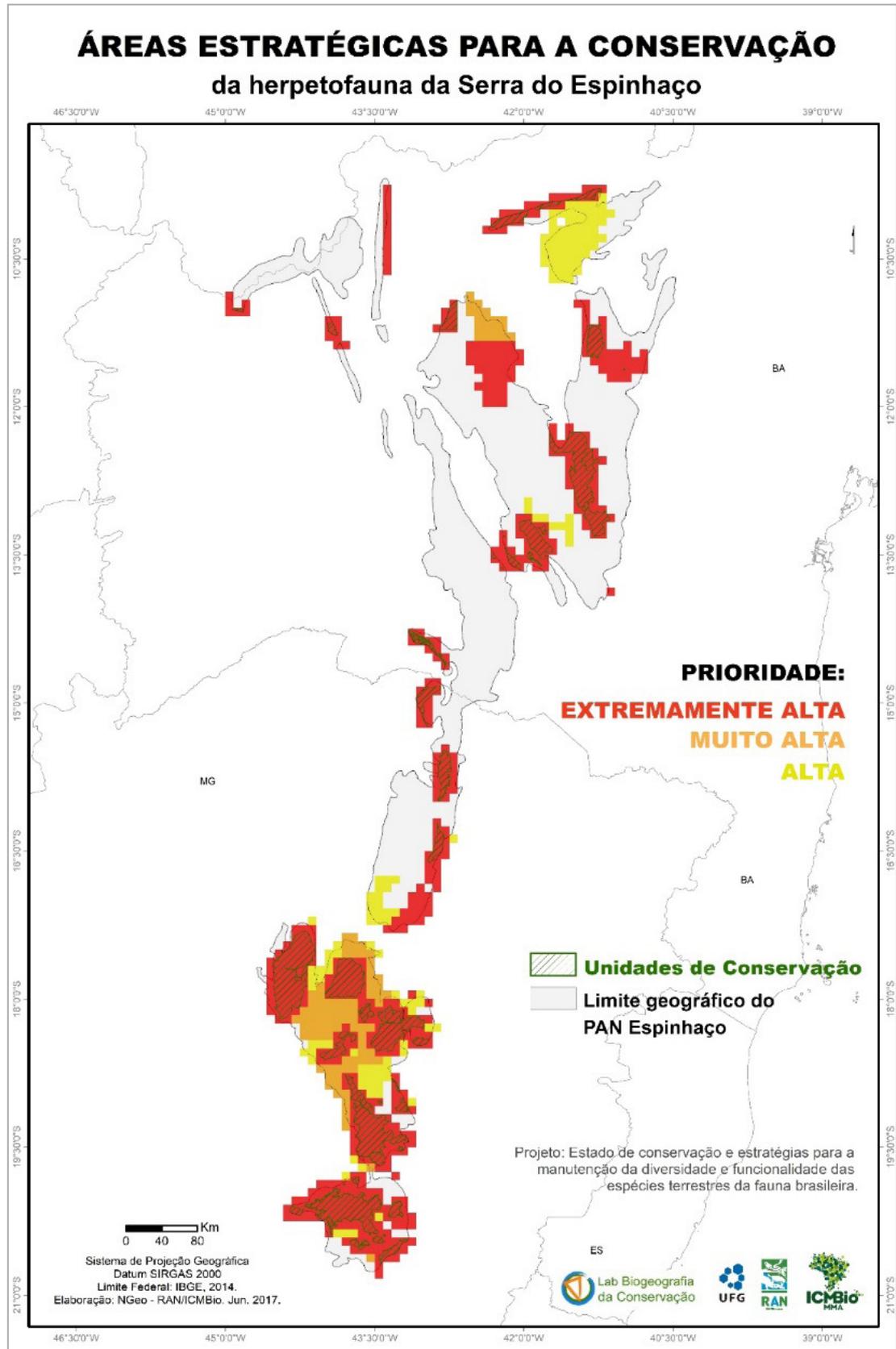


*Espécie sem registros dentro dos limites geográficos do PAN.

Legenda: CR (criticamente em perigo), EN (em perigo), VU (vulnerável), NT (quase ameaçada), LC (menos preocupante) e DD (dados insuficientes).

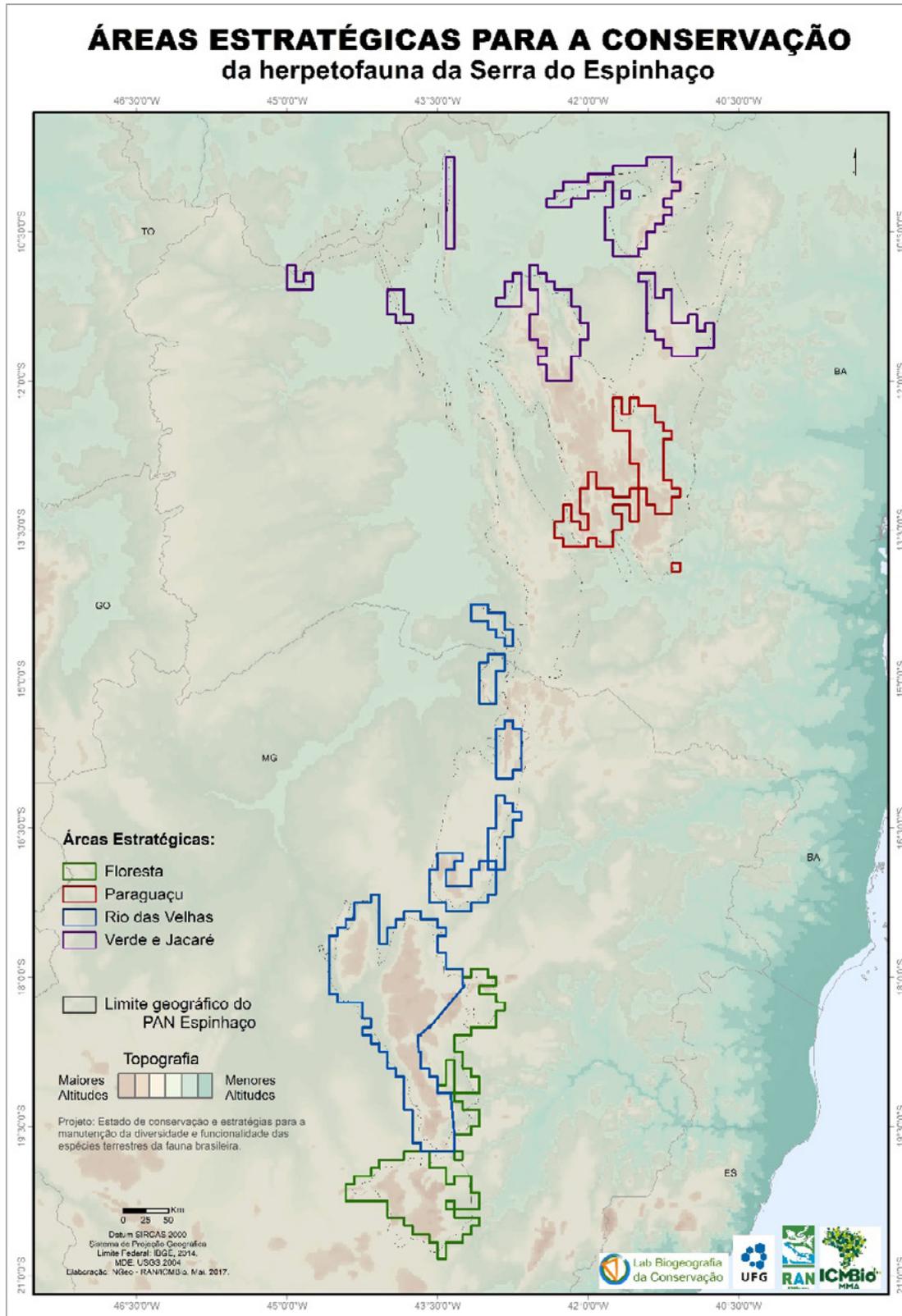
Fonte: Elaborada pelas autoras.

FIGURA 4 - ÁREAS ESTRATÉGICAS DO PAN HERPETOFAUNA DA SERRA DO ESPINHAÇO HIERARQUIZADAS POR PRIORIDADE



Fonte: Elaborada pelas autoras.

FIGURA 5 - ÁREAS ESTRATÉGICAS DO PAN HERPETOFAUNA DA SERRA DO ESPINHAÇO, AGRUPADAS EM 4 REGIÕES, DE ACORDO COM OTTOBACIAS HIDROGRÁFICAS E/OU GRUPOS DE VEGETAÇÃO

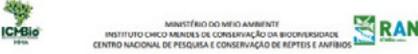


Fonte: Elaborada pelas autoras.

Além disso, há fichas técnicas de todas as AE selecionadas. Essas fichas trazem um conjunto de informações provenientes das ameaças antrópicas especializadas,

o que possibilita uma análise visual do predomínio dessas ameaças sobre a extensão geográfica do PAN, atendendo ao objetivo de subsidiar a definição de ações de conservação direcionadas para a redução das ameaças predominantes em cada região. Essas ações têm o potencial de contribuir de maneira mais efetiva para a redução do risco de extinção das espécies-alvo do PAN. Assim, espera-se que essa política pública tenha resultados mais efetivos com a adoção de ferramentas de produção de geoinformação. Adicionalmente, as fichas apresentam informações sobre as espécies com registro de ocorrência em cada uma das AE, bem como listam os municípios e as UC que abrangem tais áreas. A Figura 6 ilustra o modelo da ficha para uma das regiões do PAN.

FIGURA 6 - MODELO DE FICHA DA ÁREA ESTRATÉGICA PARAGUAÇU, ELABORADO PARA O PAN HERPETOFAUNA DA SERRA DO ESPINHAÇO

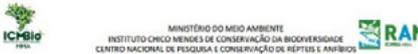


MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE RÉPTEIS E ANFÍBIOS

Unidades de Conservação*	UF	Gestor	Ranking de Importância
1 Parque Nacional da Chapada da Diamantina	BA	ICMBio	0,979
2 Área de Proteção Ambiental Marimbou Iraquara	BA	Estadual	0,967
3 Parque Natural Municipal do Morro do Pai Inácio	BA	Municipal	0,962
4 Área de Proteção Ambiental Serra do Barbado	BA	Estadual	0,961
5 Área de Relevante Interesse Ecológico Nascente do Rio de Contas	BA	Estadual	0,956
6 Área de Proteção Ambiental da Pedra Branca	BA	Municipal	0,883
7 Área de Proteção Ambiental do Morro Branco	BA	Municipal	0,852
8 Área de Proteção Ambiental dos Pequizeiros	BA	Municipal	0,852
9 Parque Municipal Natural da Serra das Almas	BA	Municipal	0,849
10 Área de Proteção Ambiental da Gamelaíra	BA	Municipal	0,812
11 Floresta Nacional Contendas do Sincorá	BA	ICMBio	0,760
12 Área de Proteção Ambiental da Pedra do Queimado	BA	Municipal	0,746
13 Área de Proteção Ambiental do Morro de Santana	BA	Municipal	0,744
14 Área de Proteção Ambiental da Barragem	BA	Municipal	0,743
15 Área de Proteção Ambiental da Casabrava	BA	Municipal	0,743

*Base de dados do ICMBio (MMA, 2007). A sigla em itálica indica a unidade de conservação em foco.

5. Recomendações para criação de UC nas AE (MMA, 2007)
As Áreas prioritárias para a conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira (MMA, 2007) sugerem para esta região a criação de Unidades de Conservação para as localidades conhecidas como: Serra do Barbado e Marimbou/Iraquara.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E CONSERVAÇÃO DE RÉPTEIS E ANFÍBIOS

Ficha das Áreas Estratégicas do Plano de Ação Nacional Herpetofauna da Serra do Espinhaço

Área Estratégica
Paraguaçu



1. Localização
A AE recebe o nome Paraguaçu devido grande parte de sua extensão ocorrer na Unidade Hidrológica Estadual Paraguaçu. Localizada na porção da serra do Espinhaço que concentra-se no centro do estado da Bahia.

Na Bahia, a AE abrange os municípios de Absira, Andaraí, Caturama, Contendas do Sincorá, Dom Basílio, Érico Cardoso, Ilhéus, Iraquara, Ilhéus, Juscelino, Lajeado, Lencóis, Livramento de Nossa Senhora, Mucugê, Nova Redenção, Palmeiras, Paramirim, Platá, Rio de Contas, Rio do Preto, Saubara.

A AE Paraguaçu tem predomínio do grupo de vegetação Refúgio Ecológico (aproximadamente 42% da área), seguido pelos grupos Savana e Floresta Estacional.

2. Ameaças
Entre as ameaças citadas nas fichas das espécies contempladas pelo PAN Espinhaço e possíveis de serem especializadas, há um predomínio nesta AE das seguintes ameaças:

- Queimadas;
- Poluição extrema no limite sul e norte da AE;
- Agricultura;
- Empreendimentos viários;
- Mineração intensa na região sul da AE.

3. Espécies
As espécies contempladas pelo PAN Espinhaço com registros descritos na AE Paraguaçu são:

Nome da espécie	Registros	Categoria de ameaça	Ordem	Família
<i>Acratoaura spinosa</i>	1	DD	Squamata	Gymnophthalmidae
<i>Amphibaena uraxena</i>	1	EN	Squamata	Amphisbaenidae
<i>Anolis colaris</i>	1	DD	Squamata	Gymnophthalmidae
<i>Basiliscus vittatus</i>	1	DD	Anura	Hylidae
<i>Erythronotus erythronotus</i>	1	CR B1ab(ii)	Squamata	Leiosauridae
<i>Gymnodactylus vitorinus</i>	1	DD	Squamata	Phyllodactylidae
<i>Heterodactylus septentrionalis</i>	1	EN B1ab(ii)	Squamata	Gymnophthalmidae
<i>Psilophthalmus paucinosus</i>	1	NT	Squamata	Gymnophthalmidae
<i>Tropidurus mucujensis</i>	1	DD	Squamata	Tropiduridae

*Dados de MMA (2007).

4. Unidades de Conservação

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Outro exemplo de produto que pode ser gerado a partir dos dados da priorização é a ordenação das UC de acordo com a sua importância para répteis e anfíbios, o que propicia a aproximação dos Centros de Pesquisa à gestão dessas UC, potencializando os esforços de conservação em áreas estratégicas.

Cada ficha técnica é uma ferramenta simples e sintética que pode ser continuamente construída com a participação de todos os envolvidos no planejamento de ações dos PAN. Dessa forma, em oportunidades futuras, outras informações relevantes poderão ser acrescentadas às fichas, elevando a qualidade da definição das ações para a conservação de répteis e anfíbios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de distribuição ainda são pouco utilizados para guiar a definição de ações de conservação não exclusivamente acadêmicas (GUISAN *et al.*, 2013). O uso dessa técnica em conjunto com o PSC também não é comum, havendo um predomínio da utilização de outros tipos de dados para representar a distribuição das espécies (TULLOCH *et al.*, 2016). Um dos fatores de impedimento da aplicação dos modelos, como apontado por Tulloch *et al.* (2016), é o tempo disponível reduzido, que também entendemos ser limitante no setor público ambiental.

Contudo, o PSC, que possuía utilização no Brasil quase restrita à definição do instrumento público de planejamento *Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira* (BRASIL, 2007), começa a ser mais amplamente empregado como ferramenta de suporte a tomadas de decisão de conservação governamentais (LOYOLA; MACHADO, 2016; MONTEIRO *et al.*, 2018). Os autores do presente trabalho vivenciaram a aplicação dessa ferramenta em propostas técnicas para reduzir impactos de empreendimentos, para priorizar propostas de criação de UC e para definir áreas de maior prioridade de destinação de recursos em projetos internacionais, por exemplo. Constatou-se, ainda, que a utilização de ferramentas de priorização espacial nos PAN, mesmo que sejam possíveis diferentes abordagens como a de Monteiro *et al.* (2018), parece bastante promissora, tendo tido boa aceitação entre os atores-chave envolvidos.

Há uma crescente quantidade de dados sobre o uso do solo disponíveis em domínios públicos. A análise desses dados representa grande potencial para a gestão ambiental do país. No presente trabalho, o emprego de ferramentas científicas de produção de geoinformação permitiu a obtenção de uma síntese do conhecimento existente para a gestão do território de interesse. Constatou-se que os resultados podem facilitar a definição de ações de conservação mais voltadas para a mitigação de impactos das atividades antrópicas predominantes em cada AE, podendo reduzir o risco de extinção das espécies.

Além disso, é válido ressaltar que os planejamentos ambientais devem ser cíclicos, uma vez que as informações de biodiversidade e de uso do solo são frequentemente atualizadas, além de ser inerente a elas algum nível de incerteza, que pode ser reduzido pelo uso das melhores metodologias disponíveis. Desse modo, acreditamos que a utilização de ferramentas que lidam com dados no espaço geográfico é fundamental para inovar o planejamento público, trazendo técnicas científicas avançadas para auxiliar na tomada de decisões de conservação.

Por fim, reforçamos as proposições de Guisan *et al.* (2013), segundo as quais os estudos acadêmicos precisam informar mais que somente outros pesquisadores e, para isso, torna-se essencial a aproximação entre universidades e órgãos públicos da área do meio ambiente, o que oportunizará que estes entendam as premissas metodológicas envolvidas em cada técnica e que aquelas se dediquem a responder às perguntas necessárias para a resolução dos problemas práticos de conservação.

REFERÊNCIAS

- ALLOUCHE, Omri; TSOAR, Asaf; KADMON, Ronen. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology*, Hoboken, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006.
- ANA (Agência Nacional de Águas). Superintendência de Gestão da Informação. *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11*. Brasília: ANA: SGI, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira: atualização - Portaria MMA n.9, de 23 de janeiro de 2007*. Brasília: MMA, 2007.
- FAGUNDES, Camila K.; VOGT, Richard. C.; DE MARCO JUNIOR, Paulo. Testing the efficiency of protected areas in the Amazon for conserving freshwater turtles. *Diversity and Distributions*, Hoboken, v. 22, n. 2, p. 123–135, 2015.
- FERRAZ, Maria P. M. de B. *et al.* Species distribution modeling for conservation purposes. *Natureza & Conservação*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p.214–220, 2012.
- GUILLERA-ARROITA, Gurutzeta *et al.* Is my species distribution model fit for purpose? Matching data and models to applications. *Global Ecology and Biogeography*, Hoboken, v. 24, n. 3, p. 276–292, 2015.
- GUISAN, Antoine *et al.* Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecology Letters*, Hoboken, v. 16, n. 12, p. 1424–1435, 2013.
- HIJMANS, Robert J. *et al.* *dismo: species distribution modeling: R package version 1.0-12*. Vienna: The R Foundation for Statistical Computing, 2015. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/available_packages_by_name.html. Acesso em: 8 mar. 2017.
- HUANG, Ivy B.; KEISLER, Jeffrey; LINKOV, Igor. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 409, n. 19, p. 3578–3594, 2011.
- ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). Instrução normativa n. 25, de 12 de abril de 2012. Disciplina os procedimentos para a elaboração, aprovação, publicação, implementação, monitoria, avaliação e revisão de planos de ação nacionais para conservação de espécies ameaçadas de extinção ou do patrimônio espeleológico. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 64, 13 abr. 2012.
- ICMBIO. Portaria ICMBio n. 38, de 3 de maio de 2016. Plano de Ação Nacional para Conservação da Herpetofauna Ameaçada da Mata Atlântica Nordestina - PAN Herpetofauna da Mata Atlântica Nordestina estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, espécies contempladas, período de atuação e procedimentos de implementação, supervisão e revisão. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n.84, p. 120, 4 maio 2016a.
- ICMBIO. Portaria ICMBio n. 109, de 16 de dezembro de 2016. Plano de Ação Nacional para a Conservação de Répteis e Anfíbios Ameaçados de Extinção na Serra do Espinhaço - PAN Herpetofauna da Serra do Espinhaço, estabelecendo seu objetivo geral, objetivos específicos, espécies contempladas, período de atuação e procedimentos de implementação, supervisão e revisão. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, n. 246, p. 198, 23 dez. 2016b.
- ICMBIO. *Espécies ameaçadas: lista 2014*. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/lista-de-especies>. Acesso em: 15 jun. 2017.

- IUCN (International Union for Conservation of Nature). Standards and Petitions Subcommittee. *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria*: version 13. Gland: IUCN, 2017. Disponível em: <http://cmsdocs.s3.amazonaws.com/RedListGuidelines.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2017.
- LEHTOMÄKI, Joonas; MOILANEN, Atte. Methods and workflow for spatial conservation prioritization using Zonation. *Environmental Modelling & Software*, Amsterdam, v. 47, p. 128–137, 2013.
- LOYOLA, Rafael; MACHADO, Nathália. Áreas prioritárias para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional. In: POUGY, Nina *et al.* (org.). *Plano de ação nacional para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional*. Rio de Janeiro: CNCFlora: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Andre Jakobsson Estúdio, 2015. p. 49–77.
- MARGULES, Chris. R.; PRESSEY, Robert. L. Systematic conservation planning. *Nature*, London, n. 405, p. 243–253, 2000.
- MOILANEN, Atte *et al.* Balancing alternative land uses in conservation prioritization. *Ecological Applications*, Hoboken, v. 21, n. 5, p. 1419–1426, 2011.
- MOILANEN, Atte *et al.* Prioritizing multiple-use landscapes for conservation: methods for large multi-species planning problems. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, London, v. 272, n. 1575, p. 1885–1891, 2005.
- MOILANEN, Atte *et al.* *Zonation—spatial conservation planning methods and software*: version 4: user manual. Helsinki: University of Helsinki, 2014.
- MONTEIRO, Lara *et al.* Conservation priorities for the threatened flora of mountain-top grasslands in Brazil. *Flora*, Amsterdam, v. 238, p. 234–243, 2018.
- PEARSON, Richard G. Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners. *Lessons in Conservation*, New York, v. 3, p. 54–89, 2007.
- POUGY, Nina *et al.* *Plano de Ação Nacional para a conservação da flora ameaçada de extinção da Serra do Espinhaço Meridional*. Rio de Janeiro: CNCFlora: Jardim Botânico do Rio de Janeiro: Andre Jakobsson Estúdio, 2015.
- PRIMACK, Richard B.; RODRIGUES, Efraim. *Biologia da conservação*. Londrina: E. Rodrigues, 2001.
- R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014.
- SILVA, Jorge Xavier. O que é geoprocessamento? *Revista CREA-RJ*, Rio de Janeiro, v. 79, p. 42–44, 2009.
- SOARES-FILHO, Britaldo *et al.* Brazil's market for trading forest certificates. *PLOS ONE*, San Francisco, California, v. 11, n. 4, p. e0152311, 2016.
- SOULÉ, Michael E. What is conservation biology? *BioScience*, Oxford, v. 35, n. 11, p. 727–734, 1985.
- TULLOCH, Ayesha I. T. *et al.* Conservation planners tend to ignore improved accuracy of modelled species distributions to focus on multiple threats and ecological processes. *Biological Conservation*, Amsterdam, v. 199, p. 157–171, 2016.
- WOOD, Simon N. mgcv: GAMS and generalized ridge regression for R. *R News*, Vienna, v. 1, n. 2, p. 20–25, 2001.
- WORLDCLIM. *Maps, graphs, tables, and data of the global climate*. Disponível em: <https://www.worldclim.org/> Acesso em: 7 mar. 2017.



Fontes de energias renováveis

3. PRODUÇÃO DE BODIESEL ATRAVÉS DA RECICLAGEM DO SEBO BOVINO



Produção de biodiesel através da reciclagem do sebo bovino

TATIANA APARECIDA ROSA DA SILVA
NATHÁLIA AUGUSTA URBANO CAETANO

As preocupações com os impactos ambientais e o preço crescente dos produtos derivados do petróleo, juntamente com a depleção dos combustíveis fósseis, têm aumentado a busca por fontes alternativas a esses combustíveis para garantir energia ambientalmente correta no futuro (BALAT; BALAT, 2010). Uma dessas alternativas é o biodiesel, que vem sendo utilizado em vários países, apresentando vantagens como: origem nacional, lubrificabilidade, renovabilidade, biodegradabilidade, maior ponto de fulgor, possibilidade de redução das emissões de poluentes, bem como a miscibilidade com petrodiesel (DOKIC *et al.*, 2012; GAN *et al.*, 2012; GERALDES *et al.*, 2014; HOEKMAN *et al.*, 2011).

O prefixo “bio” indica a fonte biológica e renovável do biodiesel, que, em contraste com o diesel convencional, consiste em um biocombustível proveniente de biomassa, a qual pode ser de origem vegetal ou animal. Dentre as fontes vegetais destacam-se as seguintes plantas oleaginosas: soja, algodão, palma, amendoim, canola, mamona e girassol. Em relação às fontes animais, tem-se utilizado como matéria-prima o sebo, que pode ser aproveitado do abate de bovinos, de suínos, de aves e de peixes. As fontes residuais procedem do reuso de óleos e gorduras oriundos de outros processos, como o óleo utilizado em frituras (BAUTISTA *et al.*, 2009; FELIZARDO *et al.*, 2006).

Apesar de todos os aspectos motivadores, o biodiesel apresenta como desvantagem seu alto custo de produção, decorrente do elevado valor das oleaginosas. Considerando que a matéria-prima representa cerca de 85% desse custo, busca-se desenvolver novos compostos que possibilitem barateá-lo. Nesse sentido, a utilização do sebo bovino é muito vantajosa – o que favorece o Brasil, por ser um dos maiores produtores de rebanho bovino do planeta (BORGES; DÍAZ, 2012; KNOTHE *et al.*, 2006).

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), por meio do Regulamento Técnico n. 7/2008, define o biodiesel como um “combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos oriundos de óleos vegetais ou gorduras animais, designado por B100 (biodiesel puro)” (ANP, 2014). Mundialmente, passou-se a adotar uma nomenclatura bastante apropriada para identificar a concentração de biodiesel na mistura com diesel: na designação BXX, o XX significa a porcentagem em volume do biodiesel na mistura (ANP, 2014).

O biodiesel inseriu-se na matriz energética brasileira com a criação de seu marco regulatório por meio da Lei n. 11.097/2005. Conforme definido nesse marco, autorizou-se a mistura de 2% em volume de biodiesel ao diesel (B2) a partir de janeiro de 2005. A mistura tornou-se obrigatória em 2008, quando foi autorizado o uso de 5% de biodiesel (B5). Em 2014, a Lei n. 13.033 dispôs sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final com a proporção de 6% e 7%. Essa lei foi alterada pela Lei n. 13.263/2016, que estabeleceu um cronograma de aumento da adição para B8 em 2017 e para B10 em 2019 (ANP, 2017).

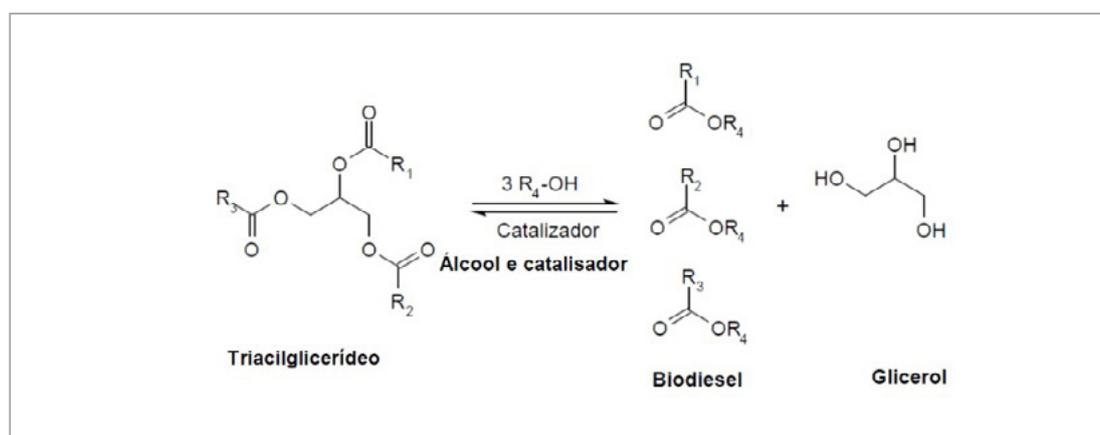
Segundo o *Boletim de Conjuntura do Setor Energético*, publicado pela FGV Energia, na proporção de matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, o sebo bovino ocupa o segundo lugar, com 16,94%, perdendo somente para a soja, que corresponde a 69,30% (ROITMAN; DELGADO, 2017). O restante se divide entre óleo de algodão, óleos residuais e outros. A utilização do sebo se deve, em primeiro lugar, ao seu baixo custo e à alta oferta; em segundo lugar, ao abastecimento sem concorrência com o mercado de alimentos; por último, e mais importante, à sua taxa de conversão em óleo, que é de 100% (RICO; SAUER, 2015). O sebo bovino é uma opção viável para a produção de biodiesel (ADEWALE *et al.*, 2015), porque é composto basicamente por ácidos graxos de cadeia saturada, possuindo estruturas químicas semelhantes às dos óleos vegetais, dos quais difere apenas em relação aos tipos de ácidos e à distribuições deles em combinação com o glicerol.

Existem vários métodos para a produção e para a aplicação do biodiesel: o uso direto de óleo vegetal, as microemulsões, o craqueamento térmico (pirólise) e a transesterificação. O uso direto de óleo vegetal não é aplicável na maior parte dos motores a diesel, devido à elevada viscosidade desse óleo, o que torna necessária a sua conversão química. O biodiesel obtido a partir de microemulsão e dos métodos de craqueamento térmico levaria à combustão incompleta em razão do baixo número de cetano, que representa a velocidade de ignição. Por sua simplicidade, a transesterificação é o método mais utilizado para a produção de biodiesel no mundo, com amplo uso na conversão de óleo vegetal ou residual (ADEWALE *et al.*, 2015; SILVA, 2011; WANG *et al.*, 2007; YAAKOB *et al.*, 2013).

A reação de transesterificação, também conhecida como alcoólise, é a reação de óleo ou gordura vegetal com um álcool para formar ésteres e glicerol (Figura 1).

Para completar uma reação de transesterificação, estequiometricamente, a razão molar necessária é de 3:1 de álcool:triglicerídeos. Na prática, para ter um rendimento máximo de éster, a relação molar deve ser maior do que a estequiométrica, a fim de deslocar o equilíbrio para os produtos e permitir a separação do glicerol formado (CHAKRABORTY; SAHU, 2014).

FIGURA 1 - REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO ALCALINA DOS TRIGLICERÍDEOS COM ÁLCOOIS



Fonte: Enweremadu e Mbarawa (2009).

Os catalisadores alcalinos têm sido muito usados, como as bases fortes hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH), em razão de seu menor tempo de reação e de seu baixo custo. Ácidos fortes como, por exemplo, o ácido sulfúrico (H₂SO₄) também podem ser empregados para promover a reação de transesterificação, entretanto praticamente não são utilizados porque exigem maior tempo de reação, condições mais severas de temperatura e pressão e uso em excesso de álcool reacional, o que gera maiores custos de produção (BORGES; DÍAZ, 2012; DE ALMEIDA *et al.*, 2015; HOEKMAN *et al.*, 2011).

Um dos grandes problemas encontrados para a produção de biodiesel através da reação de transesterificação alcalina (processo convencional) é a formação de sabão quando são utilizadas matérias-primas com alto índice de acidez, o que restringe o uso do método a uma pequena variedade de óleos vegetais, pois esse produto saponáceo reduz o rendimento reacional devido ao consumo do catalisador básico (RICO; SAUER, 2015; SILVA; NETO, 2013).

Para ser comercializado, o biodiesel é submetido a análises que buscam garantir a sua qualidade de acordo com os padrões estabelecidos pela ANP, órgão responsável por fiscalizar e estabelecer as especificações para obtenção de um produto adequado ao uso. Em conformidade com essas especificações, os ésteres alquílicos obtidos pelo processo de transesterificação de óleos residuais podem ser utilizados como combustível em motores a diesel devido às suas propriedades físico-químicas satisfatórias (ADEWALE *et al.*, 2015; IASTIAQUE MARTINS *et al.*, 2015).

Neste trabalho, enfatiza-se a reciclagem do sebo bovino como matéria-prima do biodiesel, tendo em vista os objetivos de retirar esse composto indesejado do meio ambiente e de permitir a geração de uma fonte de energia alternativa aos combustíveis fósseis, renovável e menos poluente. No estudo, são verificadas as características físico-químicas dessa gordura e a qualidade do biocombustível produzido a partir dela, bem como sua viabilidade como matéria-prima para a produção de biodiesel metílico por catálise alcalina.

METODOLOGIA

PREPARAÇÃO DA AMOSTRA DE SEBO BOVINO

A amostra do sebo bovino foi coletada no resíduo de açougue, que, normalmente, é destinado para a indústria de ração. A amostra foi aquecida a uma temperatura de 40°C durante 50 minutos e, após fusão completa, foi filtrado a quente, de modo que os resíduos orgânicos indesejáveis pudessem ser descartados. Posteriormente, foi colocada na estufa durante 90 minutos a uma temperatura de 110 °C para a eliminação de qualquer vestígio de umidade e depois foi conservada em embalagem de plástico.

PREPARAÇÃO DO BIODIESEL

Uma massa de 50g sebo bovino foi pesada e colocada em manta de aquecimento a 43°C com agitação branda. Em seguida, pesou-se 1% de KOH em relação à massa de sebo, que foi solubilizado em 19 mL de metanol. A mistura foi adicionada ao sebo aquecido em agitação e assim permaneceu por 50 minutos. Ao término do tempo, a mistura obtida foi transferida para um funil de separação, o qual ficou em repouso por 50 minutos, e foi observada a formação de duas fases. Após, a mistura reacional foi decantada e a fase superior foi lavada com água quente a 80 °C e secada em estufa a 110 °C para a retirada da água.

ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE GORDURA E DE BIODIESEL

Os óleos foram analisados por meio de ensaios físico-químicos de acordo com as normas internacionais estabelecidas pela American Society for Testing and Materials em 2010, que são apresentadas na Resolução ANP n. 45/2014. As propriedades físico-químicas estudadas foram: aspecto, ponto de fusão, massa específica e índice de acidez.

Ponto de fusão e aspecto do biodiesel

Na caracterização físico-química do sebo bovino, obteve-se primeiramente a medida da faixa de fusão por meio do aquecimento em banho-maria e da utilização de um termômetro para marcação da temperatura de fusão.

O procedimento adotado para o aspecto consistiu em classificar visualmente o biodiesel produzido pela limpidez e pela presença ou não de impurezas.

Massa específica a 20 °C

Este parâmetro foi analisado pelo cálculo da diferença entre a massa da proveta vazia e a massa da proveta com as amostras, assim como pela medição do volume nela contido, o que possibilitou o cálculo da massa específica de cada uma das amostras conforme a Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

em que ρ é a massa específica em kg.m^{-3} ; m é a massa em Kg e V é o volume em m^3 .

Para a determinação da massa específica do biodiesel a 20 °C, resfriou-se o combustível em água gelada até que fosse atingida a temperatura da análise. Da mesma forma que na calibração, a massa de biodiesel é obtida pela diferença entre a massa da proveta com as amostras e a massa da proveta vazia. Determina-se, assim, mediante a Equação 1, a massa específica do combustível.

Índice de acidez

Para determinação do índice de acidez, pesou-se aproximadamente 2,5 gramas da amostra e adicionou-se 50 ml de uma mistura de éter etílico com álcool etílico (2:1) para solubilizar o biodiesel, acrescentou-se 3 gotas de fenolftaleína 1%. Em seguida, titulou-se a mistura com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N previamente padronizada.

O cálculo deste parâmetro é feito em função do volume de solução básica gasto na titulação. Os resultados numéricos obtidos foram determinados utilizando-se a Equação 2.

$$IA = \frac{N \times V \times E \times f}{m} \quad (2)$$

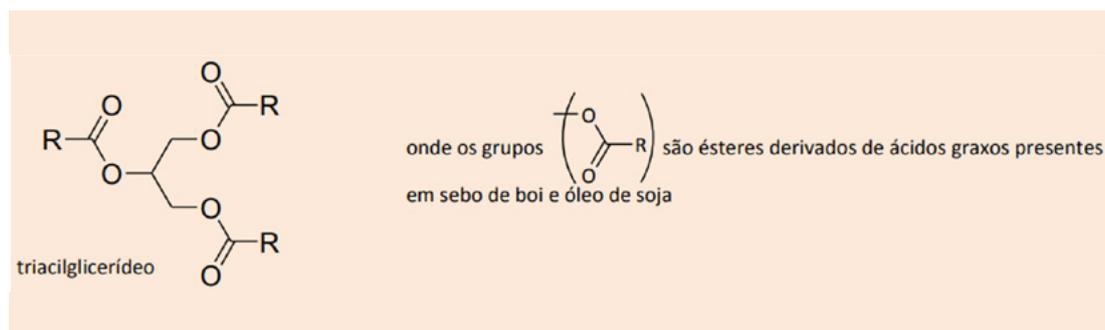
em que IA é o índice de acidez em mg KOH/g óleo; N é a normalidade da solução titulante; V é o volume gasto da solução titulante; E é o equivalente-grama da base; f é o fator de correção da solução titulante e m é a massa da amostra em gramas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SEBO BOVINO: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Os lipídeos são moléculas orgânicas derivadas da junção de ácidos graxos e álcool. O sebo bovino é um lipídeo pertencente à classe dos triglicerídeos, que são triésteres de glicerol com ácidos graxos (Figura 2). É constituído de uma mistura de triglicerídeos de composição percentual diferente de outras gorduras e de óleos vegetais (ALLINGER *et al.*,1976).

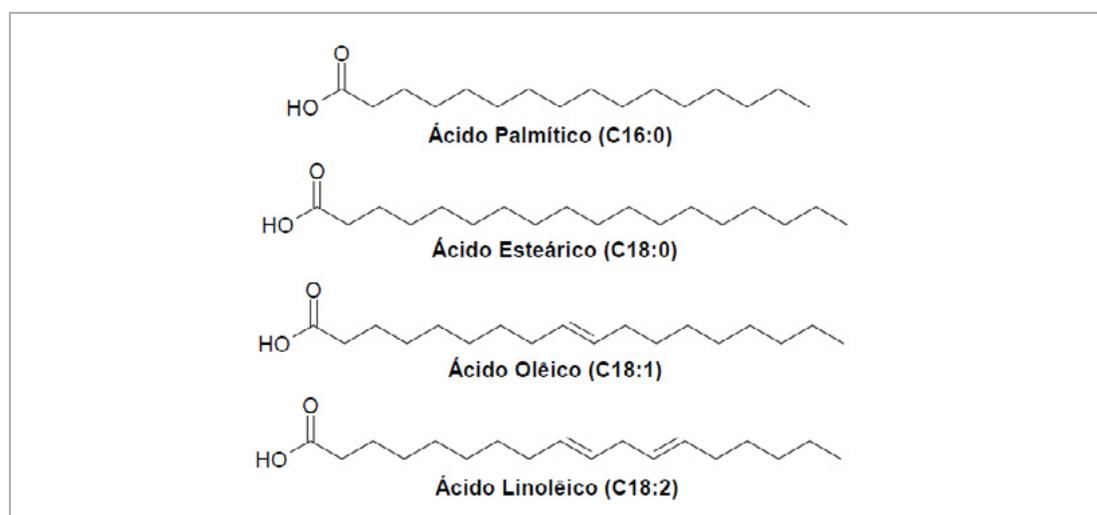
FIGURA 2 - ESTRUTURA GERAL DE UM TRIGLICERÍDEO



Fonte: Meneghetti, Meneghetti e Brito (2013).

Os ácidos graxos são ácidos orgânicos lineares que diferem pelo número de carbonos, pela presença de insaturações, pela variação de posição da instauração em sua cadeia hidrofóbica ou ainda pela presença de algum grupo funcional na cadeia carbônica. Os ácidos graxos sem duplas ligações são conhecidos como saturados e aqueles que as possuem são chamados de insaturados ou poli-insaturados, os quais apresentam uma ou mais duplas ligações, respectivamente. Existem diversos ácidos graxos de ocorrência natural, sendo alguns exemplificados na Figura 3.

FIGURA 3 - EXEMPLOS DE ÁCIDOS GRAXOS DE OCORRÊNCIA NATURAL



Fonte: Silva (2011).

A Tabela 1 apresenta a composição típica do sebo bovino em termos de ácidos graxos. O percentual de 70% dos ácidos graxos presentes no sebo bovino consiste em C16:0 para o ácido palmítico e em C18:0 para o ácido esteárico, o que significa que há um total de 16 e 18 átomos de carbono na estrutura química, respectivamente; o número zero indica que a cadeia é saturada, ou seja, não possui ligações duplas ou triplas, conforme pode ser observado na Figura 3.

TABELA 1
COMPOSIÇÃO DO SEBO BOVINO EM ÁCIDOS GRAXOS

ÁCIDOS GRAXOS	ESTRUTURA	VALORES DE REFERÊNCIA (%)
Ácido mirístico	C14:0	1,0 - 6,0
Ácido palmítico	C16:0	20,0 - 37,0
Ácido palmitoleico	C16:1	1,0 - 9,0
Ácido margárico	C17:0	1,0 - 3,0
Ácido esteárico	C18:0	25,0 - 40,0
Ácido oleico (ômega 9)	C18:1	31,0 - 50,0
Ácido linoleico (ômega 6)	C18:2	1,0 - 5,0

Fonte: Firestone (2006).

FIGURA 4 - AMOSTRA DE SEBO BOVINO SUBMETIDA A AQUECIMENTO



Fonte: Produzida pelas autoras.

A força intermolecular aproxima mais as cadeias carbônicas quando as moléculas possuem um maior número de ligações simples, ficando, assim, mais próximas umas das outras e com maior interação, o que, no caso do sebo, faz com que ele seja sólido à temperatura ambiente. Por esse motivo, o sebo bovino foi pré-tratado (Figura 4) e aquecido durante os experimentos, com o fim de evitar que sua solidificação impossibilitasse a caracterização de suas propriedades, causando às análises um grande grau de incerteza.

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados das análises físico-químicas do sebo bovino, antes da preparação do biodiesel. Todas as análises foram replicadas, a fim de buscar registros mais precisos.

TABELA 2
ANÁLISES EFETUADAS PARA O SEBO BOVINO

PROPRIEDADES	UNIDADE	VALORES
Faixa de fusão	°C	43 °C-46 °C
Massa específica (20 °C)	kg/m ³	894
Índice de acidez	mg KOH/g	2,63

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Os valores possibilitaram o desenvolvimento correto do processo de transesterificação, sendo respeitada a faixa de fusão adequada a fim de que o sebo líquido fosse

manipulado com temperatura em torno de 45 °C, para que ocorressem mais choques efetivos entre as moléculas.

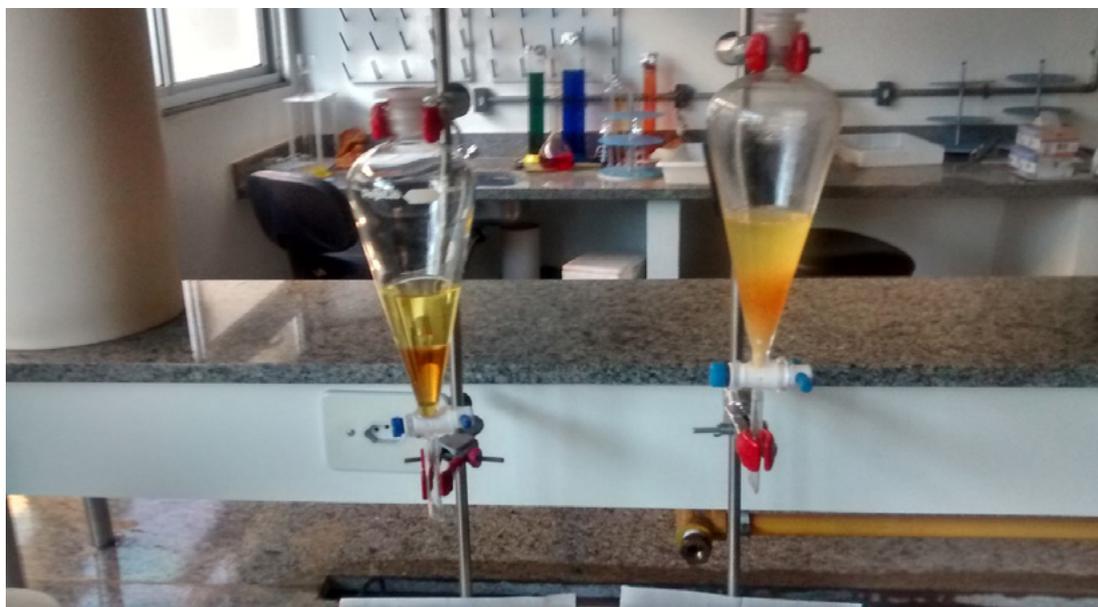
Como indicado anteriormente, a massa específica é a densidade calculada pela relação entre a massa e o volume do fluido. Com as análises, pudemos observar que o sebo bovino apresenta uma densidade de 894 kg/m³.

O índice de acidez de um óleo não é uma constante, uma vez que se origina da hidrólise parcial dos triglicerídeos e, por isso, está associado ao grau de degradação da substância. Para produzir biodiesel por catálise básica, o teor de ácidos graxos livres precisa estar abaixo de 3%. Quanto mais alta a acidez da matéria-prima, menor é a eficiência de conversão. Como o sebo apresentou uma acidez maior do que 2, então foram utilizados 2% de catalisador (BAUTISTA *et al.*, 2009; SILVA; NETO, 2013).

Biodiesel

Na Figura 5, observa-se que é possível a produção de biodiesel a partir de hidróxidos de sódio e de potássio. Com hidróxido de sódio (NaOH), notou-se a formação de ambas as fases turvas, tornando a separação das fases mais difícil. Com o hidróxido de potássio (KOH), o biodiesel ficou amarelo, límpido e isento de impurezas.

FIGURA 5 - DECANTAÇÃO DO BIODIESEL EM CATÁLISE POR KOH (À ESQUERDA) E POR NaOH (À DIREITA)



Fonte: Produzida pelas autoras.

A separação não é efetiva utilizando NaOH, pois ocorre a formação de sabão vindo dos ácidos graxos livres (AGL), que formam sabões pouco solúveis, o que diminui consideravelmente o rendimento da reação. A saponificação é uma reação paralela que promove a desativação do catalisador e a formação de moléculas de água durante o processo.

Após as consecutivas lavagens com água destilada a 80 °C e a secagem do produto da reação, foram obtidos 42,2 mL de biodiesel metílico com KOH, o que representa

um rendimento operacional de 84,4% com relação aos 50g de sebo utilizado. Para o biodiesel com NaOH, o rendimento foi de 65,3%.

Os resultados para as propriedades físico-químicas dos dois tipos de biodiesel estão apresentados na Tabela 3 e confrontados com os valores de referência da ANP.

TABELA 3
ANÁLISES EFETUADAS PARA O BIODIESEL

PROPRIEDADES	UNIDADES	BIODIESEL KOH	BIODIESEL NAOH	ANP
Massa Específica (20°C)	kg/m ³	861	879	850 a 900
Índice de acidez	mg KOH/g	0,58	0,88	0,5

Fonte: Elaborada pelas autoras.

Os valores obtidos mostraram que houve uma redução da massa específica do sebo bovino após a reação, revelando a conversão dos triglicerídeos em ésteres alquílicos. A mudança de viscosidade no decorrer do progresso da reação também é nítida a olho nu logo nos primeiros minutos.

Com relação ao índice de acidez, há uma diminuição do valor devido ao consumo dos AGL. Quando observado o valor recomendado pela ANP, somente o biodiesel de KOH se enquadrou na especificação de no máximo 0,5 mg KOH/g. No processo reacional com NaOH, a reação não apresentou uma boa conversão em ésteres. Assim como a umidade, a acidez de um combustível é um fator imprescindível de controle, uma vez que a presença de AGL pode desencadear todo um processo oxidativo do combustível, assim como pode ser responsável pela oxidação de partes internas do motor, causando a corrosão.

O biodiesel é um composto que tem facilidade de absorver água, por isso deve ser bem armazenado. Suas propriedades físico-químicas devem estar em conformidade com as especificações de referência, para que o combustível não ocasione problemas no motor, como formação de borra, incrustações ou aumento do desgaste.

CONCLUSÃO

A produção do biodiesel a partir do sebo como matéria-prima é viável e as mudanças nas propriedades físico-químicas desse lipídeo fazem dele uma alternativa à utilização das oleaginosas e de outras fontes, garantindo, assim, uma redução do preço do processo de produção.

A reação de transesterificação alcalina com metanol utilizando KOH e NaOH conduz à formação dos ésteres alquílicos conhecidos como biodiesel, o que foi comprovado pelos experimentos realizados. A produção com a base KOH é vantajosa porque permite um rendimento acima de 80% e gera um biodiesel adequado aos padrões exigidos pela ANP.

Em tempos em que os processos industriais continuam voltados a produções mais econômicas, a necessidade de buscar alternativas renováveis de produção de

energia aumenta a cada dia. É preciso garantir a sustentabilidade dos processos, aliada à preservação e à reutilização dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Goiás – Câmpus Itumbiara pelo espaço físico e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ADEWALE, Peter *et al.* Recent trends of biodiesel production from animal fat wastes and associated production techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 45, p. 574–588, 2015.
- ALLINGER, Norman L. *et al.* Trad. Ricardo B. Alencastro *et al.* 2.ed. *Química orgânica*. Rio de Janeiro: LTC, 1976.
- ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). *Biodiesel*. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel>. Acesso em: 2 jun. 2017.
- ANP. Resolução ANP n. 45, de 25 de agosto de 2014. Dispõe sobre a especificação do biodiesel contida no Regulamento Técnico ANP n. 3 de 2014 e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 163, p. 68, 26 ago. 2014.
- BALAT, Mustafa; BALAT, Havva. Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, Amsterdam, v. 87, n. 6, p. 1815–1835, 2010.
- BAUTISTA, Luis F. *et al.* Optimisation of FAME production from waste cooking oil for biodiesel use. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, v. 33, n. 5, p. 862–872, 2009.
- BORGES, Maria E.; DÍAZ, Luisa A. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 16, n. 5, p. 2839–2849, 2012.
- CHAKRABORTY, Rajat; SAHU, Himadri. Intensification of biodiesel production from waste goat tallow using infrared radiation: Process evaluation through response surface methodology and artificial neural network. *Applied Energy*, Amsterdam, v. 114, p. 827–836, 2014.
- DE ALMEIDA, Vanessa F. *et al.* Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: optimization of fuel properties. *Fuel Processing Technology*, Amsterdam, v. 133, p. 152–160, 2015.
- DOKIC, Marko *et al.* Decrease of free fatty acid content in vegetable oil using silica supported ferric sulfate catalyst. *Fuel*, Amsterdam, v. 97, p. 595–602, 2012.
- ENWEREMADU, Christopher; MBARAWA, Makame M. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 13, n. 9, p. 2205–2224, 2009.
- FELIZARDO, Pedro *et al.* Production of biodiesel from waste frying oils. *Waste Management*, Amsterdam, v. 26, n. 5, p. 487–494, 2006.
- FIRESTONE, David. *Physical and chemical characteristics of oils, fats, and waxes*. 2nd. ed. Boulder, USA: AOCs Press, 2006.

- GAN, Suyin *et al.* Heterogeneous free fatty acids esterification in waste cooking oil using ion-exchange resins. *Fuel Processing Technology*, Amsterdam, v. 102, p. 67–72, 2012.
- GERALDES, Érica C. *et al.* Environmental sustainability of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, v. 65, p. 680–691, 2014.
- HOEKMAN, S. Kent *et al.* Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 143–169, 2011.
- LASTIAQUE MARTINS, Gislaïne *et al.* Potential of tilapia oil and waste in biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 42, p. 234–239, 2015.
- KNOTHE, Gerhard *et al.* *Manual de biodiesel*. São Paulo: Blucher, 2006.
- MENEGHETTI, Simoni P.; MENEGHETTI, Mário R.; BRITO, Yariadner C. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, Niterói, v. 5, n. 1, p. 63–73, 2013.
- RICO, Julieta A. P.; SAUER, Ildo L. A review of Brazilian biodiesel experiences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 45, p. 513–529, 2015.
- ROITMAN, Tamar; DELGADO, Fernanda. Bio-combustíveis. *Boletim de Conjuntura do Setor Energético*, Rio de Janeiro, n. 3, p. 23–30, mar. 2017.
- SILVA, Tatiana A. R. *Biodiesel de óleo residual: produção através da transesterificação por metanólise e etanólise básica, caracterização físico-química e otimização das condições reacionais*. 2011. Tese (Doutorado em Química) – Programa Multi-Institucional de Doutorado em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.
- SILVA, Tatiana A. R.; NETO, Waldomiro B. Estudo da redução da acidez do óleo residual para a produção de biodiesel utilizando planejamento fatorial fracionado. *Revista Virtual de Química*, Niterói, v. 5, n. 5, p. 828–839, 2013.
- WANG, Ruohang *et al.* Optimization of innovative ethanol production from wheat by response surface methodology. *Process Safety and Environmental Protection*, Amsterdam, v. 85, n. 5, p. 404–412, 2007.
- YAAKOB, Zahira *et al.* Overview of the production of biodiesel from Waste cooking oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 18, p. 184–193, 2013.



Águas urbanas e gerenciamento de resíduos

4. INSTALAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE DUAS TECNOLOGIAS SOCIAIS VOLTADAS PARA A GESTÃO DAS ÁGUAS: SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA E BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
5. DESEMPENHO LUMÍNICO DAS TELHAS TRANSLÚCIDAS DE TEREFTALATO DE ETILENO (PET) PERANTE AS DE POLICARBONATO E FIBRA DE VIDRO
6. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS SUBSTITUINDO INDUTORES SINTÉTICOS NA PRODUÇÃO DE LACASE FÚNGICA
7. PLANOS DE SEGURANÇA DE ÁGUA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DE RISCOS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL
8. METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS URBANAS
9. CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA EMBASAMENTO DA ESCOLHA DE FONTES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO: O CASO DAS CAVAS DE MINERAÇÃO

Instalação e funcionamento de duas tecnologias sociais voltadas para a gestão das águas: sistema de captação de água da chuva e bacia de evapotranspiração



VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU
MAICON BRAÚNA DE MOURA
CLAUDIO JACINTHO

O bioma Cerrado, conhecido como o berço das águas, abriga nascentes e leitos dos rios de importantes bacias hidrográficas nacionais. Essa região verte água para oito bacias hidrográficas, entre as doze que existem no país, e abriga as nascentes das três principais bacias da América do Sul – Araguaia/Tocantins, São Francisco e Bacia do Prata –, o que revela a sua acuidade ambiental. Sua posição central e o relevo com altitudes favoráveis proporcionam o perfeito e denso escoamento das águas para outras regiões, configurando esse bioma como grande distribuidor aquífero. Myers *et al.* (2000) descrevem-no como um dos principais *hotspot* mundiais, que são áreas de grande sensibilidade ambiental, por serem consideradas de biodiversidade em ameaça.

Apesar de sua importância, o Cerrado continua sofrendo a forte pressão de aspectos degradantes. Sua biodiversidade decaiu historicamente com o desmatamento, que reflete diretamente em perda hídrica e em aspectos sintomáticos para o aquecimento global. Nesse bioma, formam-se, assim, cenários de insustentabilidade, repletos de impactos ambientais, promovidos pelas práticas da agricultura e da pecuária intensivas.

As populações mundiais, não diferentes das do bioma Cerrado, em especial a do Distrito Federal, enfrentam grandes desafios relacionados à preservação da água doce e à geração de formas alternativas de oferta de água potável. Esses desafios podem ser superados se houver uma ampla discussão para a criação de estratégias tecnológicas, políticas, administrativas e educacionais voltadas para a gestão dos recursos hídricos.

O incessante consumo de água dos grandes centros urbanos e das grandes áreas de agricultura determina a disponibilidade desse recurso em quantidade inferior ou igual à demanda, o que tem requerido medidas intervencionistas para a contenção do dispêndio. Observa-se um exemplo dessa situação no Distrito Federal e nos municípios goianos limítrofes, onde se enfrenta uma evidente escassez da água, que afeta milhões

de pessoas. Crise semelhante nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Pernambuco já sinalizou para a necessidade de racionamento no uso da água. Nesse sentido, mostra-se cada vez mais urgente que sejam promovidas medidas que, aliadas à conservação ambiental, aumentem a segurança hídrica em todas as regiões do nosso país. Exige-se, portanto, a realização de estudos que comprovem a efetividade de estratégias cujo fim seja garantir água, em quantidade suficiente e qualidade adequada, a todas as pessoas.

Neste trabalho, foram analisados, sob a perspectiva da Agroecologia, a implementação e o funcionamento de duas tecnologias sociais: a bacia de evapotranspiração e o sistema de captação de água da chuva. Essas tecnologias, cogitadas para a melhoria da gestão dos recursos hídricos de comunidades, foram implantadas no Centro Educacional do Lago Norte (Cedlan), uma instituição de ensino da rede pública de educação do Distrito Federal, localizada no centro de atividades do Lago Norte. Buscou-se entender o processo de mobilização agroecológica em relação a essas tecnologias, por meio do levantamento de dados referentes à construção delas, da avaliação do seu funcionamento e dos custos de sua instalação e de entrevistas com membros da comunidade escolar a respeito do processo de interação com as tecnologias.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Agroecologia fornece uma estrutura metodológica de trabalho para a compreensão mais profunda tanto da natureza dos agroecossistemas quanto dos princípios segundos os quais eles funcionam. Trata-se de uma nova abordagem que integra os princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão e à avaliação do efeito das tecnologias sobre os sistemas agrícolas e sobre a sociedade como um todo. Uma abordagem agroecológica incentiva os pesquisadores a penetrar no conhecimento e nas técnicas dos agricultores e a desenvolver agroecossistemas com uma dependência mínima de insumos agroquímicos e energéticos externos (ALTIERI, 2004).

Para Altieri (2004), a produção estável somente pode acontecer no contexto de uma organização social que proteja a integridade dos recursos naturais e estimule a interação harmônica entre os seres humanos, o agroecossistema e o ambiente. Nessa proteção e nesse estímulo se fundamenta a Agroecologia, que, nessa direção, pressupõe o uso de tecnologias diversificadas e participativas, com surgimento adequado às localidades e à cultura das comunidades locais e das populações tradicionais. Constitui-se, portanto, como uma ciência que contribui com pressupostos, estratégias e conceitos acerca do papel ideal das tecnologias: servir para a solução de problemas, para a diminuição de desigualdades socioeconômicas e, sobretudo, para a promoção da sustentabilidade ambiental.

A Agroecologia pode ser relacionada, em seus fundamentos, com a definição de tecnologia social, uma vez que, conforme Sevilla-Guzmán (2002), configura-se como o desenho de métodos de desenvolvimento endógeno para o manejo ecológico dos

recursos naturais, que necessita utilizar os elementos de resistência específicos de cada identidade local a fim de potencializar as formas de ação social coletiva, considerando que o caráter transformador dessas formas requer uma dinâmica participativa.

Para complementar essa relação, é preciso apreender o entendimento de tecnologia social, que, segundo Jesus e Costa (2013), caracteriza-se por ser pensada de forma ampla para as diferentes camadas da sociedade, fazendo críticas ao modelo convencional de desenvolvimento tecnológico e propondo uma produção tecnológica mais sustentável, solidária e acessível a todos. A tecnologia social implica, nesse sentido, participação, empoderamento e autogestão de seus usuários, com vistas à utilização de recursos tecnológicos inclusivos, preservadores do meio ambiente e, portanto, preservadores da vida. Enfatiza-se, assim, a compreensão de que cidadãos, associações de bairro, empreendimentos de economia solidária, organizações não governamentais, movimentos sociais e outras instituições da sociedade civil organizada podem desenvolver tecnologias, apropriar-se delas ou adequá-las em benefício da coletividade (JESUS; COSTA, 2013).

O uso dos recursos tecnológicos de forma acrítica pode ampliar, ao invés de reduzir, o fosso que separa os donos das palavras daqueles que tiveram o direito à palavra usurpada. Portanto, se todo instrumento, equipamento, método ou artefato criado é tecnologia, tendo como objetivo potencializar as ações humanas ou permitir um salto de qualidade na organização social, econômica, política ou cultural; então, toda tecnologia é social, pois essas ações só podem ocorrer em sociedade. Ao restringir o sentido de tecnologia social à aplicação de técnicas alternativas à “tecnologia convencional” direcionadas para a pobreza, pode-se estar condenando grande parte da sociedade a jamais poder acessar toda a produção tecnológica da humanidade (NOVAES; DIAS, 2009).

Segundo Anecchini (2005), com o problema da escassez de água, seja em qualidade, seja em quantidade, aumenta-se a demanda por meios para preservar esse recurso natural, o que envolve, necessariamente, a busca de tecnologias e a revisão de sua aplicação pela população. Entre as soluções para esse problema está o uso de fontes alternativas de suprimento, com destaque para o aproveitamento da água da chuva, por ser uma opção mais simples e barata para preservar o líquido potável. Além de ter uma longa história difundida mundialmente, a utilização da água da chuva é aplicada, nos dias atuais, em muitas sociedades modernas, como uma valiosa fonte para suprir as demandas de irrigação, de consumo humano e, mais recentemente, de uso em vasos sanitários e na lavagem de roupas (KONIG, 1994 *apud* ANNECCHINI, 2005).

A maioria dos sistemas hídricos de abastecimento e coleta de esgoto presentes nas cidades consome grande quantidade de água para transportar os dejetos até um centro de tratamento no final da rede coletora. Essa tecnologia, sob a perspectiva ambiental, mostra-se insustentável à medida que são projetados o crescimento populacional e a diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos. Diante da escassez

da água e dos modos de sua utilização, têm sido propostas tecnologias simplificadas de tratamento de efluentes próximas à fonte geradora dos resíduos. Para Paulo e Bernardes (2009), entre os sistemas ecológicos de saneamento, a bacia de evapotranspiração tem se demonstrado uma tecnologia eficiente.

METODOLOGIA

INSTRUMENTOS DO ESTUDO

A abordagem metodológica adotada buscou contemplar as intenções da pesquisa de avaliar o funcionamento de tecnologias e apresentar as inter-relações dos atores sociais com as possibilidades de inovar a gestão dos recursos hídricos no ambiente escolar. Para atender a esses objetivos, foram utilizados os seguintes instrumentos: observação direta, entrevistas e análise documental.

A coleta de dados desenvolveu-se em dois momentos distintos:

- a. A primeira etapa, ocorrida entre outubro de 2014 e fevereiro de 2015, foi a fase de implementação das tecnologias sociais no ambiente escolar. Nesse momento, empregou-se a observação direta para avaliar os processos técnicos, bem como as relações dos atores sociais com a proposta.
- b. A segunda etapa, realizada de março a outubro de 2015, foi a fase de funcionamento das tecnologias, na qual os dispositivos de estudo foram as entrevistas e a análise documental.

De acordo com Marconi e Lakatos (1999), observar significa usar os sentidos para obter determinados aspectos da realidade, ou seja, consiste em ver, ouvir e examinar fatos ou fenômenos. Barbosa (2008) afirma que a observação direta é o método de coleta de dados baseado na atuação do observador treinado para apreender determinado tipo de informação sobre processos e impactos. Durante a primeira etapa da pesquisa, para que se realizasse uma observação científica, registrou-se, metodicamente, por meio de relatórios, o desenvolvimento das ações para a implementação das tecnologias.

Esse mecanismo foi articulado à realização de entrevistas semiestruturadas com aproximadamente 1 hora de duração. Desenvolvidas a partir de um roteiro específico com perguntas orientadas, essas entrevistas buscaram colher avaliações individuais de três atores importantes para o processo de mobilização e participação social: o professor do Cedlan participante de todo o processo e dois estudantes tidos como lideranças na escola. As interlocuções foram gravadas com o uso de aparelho de áudio e, posteriormente, deglavadas para a análise das informações. Esse instrumento de pesquisa foi fundamental, na medida em que auxiliou no exercício de enxergar amplamente a experiência vivida pelos participantes.

Outra fonte de dados também considerada para este estudo foram os documentos das instituições envolvidas, com o registro de informações importantes a respeito da água. Para tanto, obtiveram-se os seguintes documentos para análise:

- a. dados quantitativos da qualidade da água do tanque de captação de água da chuva;
- b. contabilidade do consumo de água da instituição de ensino;
- c. dados da rede de lançamento de esgoto da instituição de ensino.

CENÁRIO DE ESTUDO

O Cedlan foi fundado no dia 1º de julho 1998 e iniciou suas atividades no primeiro semestre de 1999. Está localizado no SHIN – CA 2, lote 24, Brasília/DF, em uma área de aproximadamente 30 mil m². É vinculado à Secretaria de Educação do Distrito Federal e, atualmente, atende em média 300 alunos do Ensino Fundamental e 635 alunos do Ensino Médio. A maioria dos estudantes reside no Varjão, nos núcleos rurais da Serrinha do Paranoá, no Paranoá, na Asa Norte, no Torto e em Sobradinho. Esse centro possui um amplo pátio escolar, área externa da escola, apropriado para construção de outras tecnologias além das que já existem, pois ainda há espaços inutilizados, com solo nu, os quais, possivelmente, podem ser ocupados para esse fim. Possui ainda uma quadra multiuso de esportes coberta e uma área destinada à horta, atualmente desativada. Apesar de possuir amplo espaço para plantio de novas árvores, há pouca arborização no local. Conta, ainda, com um minhocário de 4 m², um viveiro com 60 m² capaz de produzir até 4 mil mudas e um jardim agroflorestal.

DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS SOCIAIS

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma técnica desenvolvida e difundida por permacultores de diversas nacionalidades, com potencial para aplicação no tratamento domiciliar de água negra em zonas urbanas e periurbanas (PAMPLONA; VENTURI, 2004) e consiste em um sistema plantado, onde ocorre decomposição anaeróbica da matéria orgânica, mineralização e absorção dos nutrientes e da água pelas raízes (PAULO; BERNARDES, 2009). Para Mandai (2006), a ideia original é atribuída ao permacultor americano Tom Watson, a qual foi adaptada em projetos implantados por permacultores brasileiros, principalmente no estado de Santa Catarina e com grande destaque na região do Distrito Federal.

Pode-se afirmar que o funcionamento da bacia de evapotranspiração (BET) acontece, principalmente, pelos seguintes fatores: (1) fermentação – a água negra é decomposta pelo processo de fermentação (digestão anaeróbica) realizado pelas bactérias na câmara bio-séptica de pneus e nos espaços criados entre as pedras e tijolos colocados ao lado da câmara; (2) segurança – os agentes patogênicos são enclausurados no sistema, a bacia é fechada, sem saídas para a água. Dessa forma, ela é construída de forma a evitar infiltrações e vazamentos; (3) percolação – como a água está presa na bacia, ela percola de baixo para cima e, com isso, depois de separada dos resíduos humanos, passa pelas camadas de brita, areia e solo, chegando até as raízes das plantas, já limpas; (4) evapotranspiração – por meio da evapotranspiração realizada pelas plantas, principalmente as de folhas largas (bananeiras, mamoeiros, caetés, taioba, etc.), a água limpa é devolvida

à atmosfera. Pela ação das plantas, que consomem os nutrientes produzidos em seu processo de crescimento, a bacia nunca enche.

O tanque de captação de água da chuva é uma tecnologia social desenvolvida, inicialmente, por um dos idealizadores da permacultura, David Holmgreen. Posteriormente, a técnica foi aprimorada por permacultores brasileiros. A tecnologia permite o abastecimento de água a um custo possível, com possibilidade de beneficiar comunidades em épocas de estiagem e de reduzir contas de água geradas por companhias de abastecimento.

A técnica consiste em captar toda água pelo telhado, através de uma calha de zinco ou de PVC direcionada a um tanque de armazenagem. Até chegar ao tanque de armazenagem são feitas duas filtrações. Para realizar a primeira filtração da água, é instalada uma tela na saída da calha, evitando que folhas secas ou outros objetos de maior porte entrem pela tubulação. Para a segunda filtração, utiliza-se um filtro feito com um cano de PVC, que tem como função fazer o descarte das primeiras águas da chuva, aquelas que “lavam” os telhados. O filtro é instalado paralelamente à parede do tanque de armazenagem. No interior do cano insere-se uma bola de plástico cheia de ar, que funciona como uma boia. A bola sobe dentro do cano à medida que a água desce, vedando a passagem do líquido para baixo. Daí por diante, a água é direcionada para o interior do tanque de armazenagem. É necessário instalar um ladrão no tanque, por onde sairá o excesso de água.

Os tanques que guardam a água são construídos em ferrocimento, técnica barata, simples e que conserva adequadamente a qualidade da água. O custo final de um tanque de ferrocimento é 80% menor que o de um reservatório de ferro, que ainda corre o risco de enferrujar em pouco tempo, se não for galvanizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

PROCESSO DE INSTALAÇÃO DA BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A área para instalação da bacia foi localizada e medida no terreno, colocando-se estacas de madeira em seus vértices. O espaço das obras foi sinalizado com fitas zebreadas para evitar acidentes. O solo foi escavado a uma profundidade de 1,20 m, com auxílio de uma retroescavadeira. Após a escavação, a bacia foi impermeabilizada da seguinte maneira:

1. a tela de vergalhão foi cortada conforme as dimensões das paredes laterais e do fundo da bacia;
2. a tela foi fixada no fundo e nas paredes laterais com pedaços de 60 cm de vergalhões de ferro dobrados ao meio, em formato de grampos. Eles foram fincados no interior do solo pelo fundo e pelas paredes com o uso de uma marreta pequena;
3. na sequência, toda a área interna da bacia foi chapiscada com massa de argamassa na proporção de duas partes de areia lavada média para uma de cimento;

4. estando o chapisco seco, fez-se o procedimento conhecido como passar a massa – ou chapar a massa – na espessura entre de 2 cm a 4 cm em toda a bacia. A composição da argamassa foi a mesma do chapisco: duas partes de areia para uma de cimento;
5. enquanto a massa do reboco estava úmida, passou-se uma camada de nata de cimento acrescido de Sika 1 (impermeabilizante à base d'água).

Após a impermeabilização, seguiu-se o posicionamento dos pneus, de 50 cm de diâmetro em média, para a formação do duto. Em seguida, fez-se o preenchimento da bacia, observando a seguinte ordem:

1. 50 cm de entulhos (restos de obra ou pedras) até o nível dos pneus;
2. 20 cm de brita 1;
3. 20 cm de areia média;
4. 30 cm de terra.

Depois de coberta com terra, a bacia foi revegetada com espécies diversas – bananeiras, helicônias, taioba, costela de adão e outras –, e o solo foi coberto com matéria orgânica – grama seca. Após 24 horas secando, a bacia foi conectada à rede de escoamento do esgoto da edificação. A finalização deu-se com a delimitação da área com uma fileira de tijolos, calçamento ao redor da bacia com brita e sinalização com placa de identificação da tecnologia instalada.

No processo de implementação da bacia de evapotranspiração, fez-se um trabalho de mobilização da comunidade escolar para entendimento do processo, com vistas ao desenvolvimento de atividades pedagógicas com a tecnologia bem como à criação de possibilidades de reaplicação da técnica de instalação da bacia nas comunidades do entorno. O envolvimento comunitário na construção das tecnologias sociais, além de favorecer a redução de tempo de execução das obras, desperta a consciência acerca da importância do trabalho coletivo e favorece o compartilhamento do conhecimento produzido.

FIGURA 1 - REGISTROS DAS ATIVIDADES DO PROJETO: (A) AULA PRÁTICA SOBRE A INSTALAÇÃO E O FUNCIONAMENTO DA BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO E (B) COMUNIDADE ESCOLAR - ACOMODAÇÃO DA CAMADA DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO



O local escolhido na escola para a implantação da bacia facilitou a execução da obra, ao possibilitar o uso da retroescavadeira, que acelerou o processo de construção.

Segundo Benjamim (2013), pela caracterização do sistema construtivo da bacia de evapotranspiração, observam-se algumas vantagens do sistema em relação aos sistemas convencionais (fossa séptica) e não convencionais (fossa negra e seca). Entre as vantagens está o baixo custo dos materiais utilizados: os entulhos, os pneus descartados e os reaproveitados de material descartado. Outra vantagem diz respeito à proteção do solo: a bacia apresenta um sistema de tratamento fechado impermeabilizado, que envolve o potencial da evaporação e evapotranspiração das plantas, o que difere dos outros sistemas e impede a contaminação do solo e do lençol freático.

Na construção da tecnologia, contou-se com a participação de grande número de estudantes, que se inscreveram para a oficina de implementação. Os integrantes do grupo sentiram-se realizados por aprender a técnica e contemplados por saber que todo o esgoto gerado pelos banheiros localizados no pátio da escola, ao ser tratado com o uso da tecnologia, serviria para a produção de alimentos, tais como a banana e a taioba, e contribuiria, assim, para o embelezamento da escola.

Após a instalação da bacia de evapotranspiração, os banheiros localizados no pátio escolar não ficaram mais conectados ao serviço urbano de esgotamento do Distrito Federal. Dessa forma, diminuiu-se consideravelmente o volume do lançamento de efluentes na rede pública de esgoto, reduzindo-se os custos de transporte e de tratamento nas Estações de Tratamento (ETs). Constata-se, entretanto, que, na época de implementação do sistema e tampouco atualmente, não há medida por parte dos governantes locais de redução da taxa de esgotamento para quem usa sistemas sustentáveis de tratamento de esgoto e opta por não usar a rede urbana. Em relação ao governo do Distrito Federal (DF), a cobrança do uso da rede de esgoto é feita de maneira vinculada ao fornecimento de água; portanto, qualquer tratamento do esgoto realizado pelo cliente não o isenta de pagar pelo uso do sistema urbano. Tal cobrança é feita com base no Decreto n. 26.590, de 23 de fevereiro de 2006, nos artigos 10, 40 e 42:

Art.10 As ligações são obrigatórias para todo imóvel considerado habitável, situado em logradouro dotado de rede pública de abastecimento de água e/ou coletora de esgotos sanitários.

Art. 40. O cálculo da cobrança de esgotos obedecerá aos seguintes critérios:

I – sistema de coleta convencional:

- a. imóveis em construção: 50% (cinquenta por cento) da cobrança de água, desde que não existam outras atividades no local;
- b. demais atividades: 100% (cem por cento) da cobrança de água.

Art. 42. A existência de dispositivos de tratamento prévios ao lançamento na rede coletora de esgotos não isenta o cliente da cobrança do mesmo. (DISTRITO FEDERAL, 2006).

Em relação ao custo registrado para implementação da bacia de evapotranspiração, apurou-se que o valor é próximo ao que se gasta mensalmente na instituição de ensino para lançamento de esgoto no sistema urbano. Na implementação dessa tecnologia, foram gastos R\$ 4.900,00 (Tabela 1). Já a instituição gasta, em média, R\$ 4.500,00 por mês, apenas com o serviço de esgoto na Companhia de Saneamento Urbano, conforme os documentos fornecidos pela escola para nossa análise (Tabela 2). É importante considerar que, na implementação da bacia, não se consideraram custos com a mão de obra, pois ela pode ser realizada em mutirões, contando com a participação e o envolvimento das comunidades.

TABELA 1

CUSTO DO MATERIAL UTILIZADO PARA FAZER A BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Telinha	m ²	54	3,00	162,00
Ferro (Tela soldada de vergalhão 4,2 mm em malha de 15 x 15 cm nas dimensões 2,45m x 6m)	painel	8	170,00	1.360,00
Cimento	saco 50kg	25	20,00	500,00
Areia	m ³	11	117,00	1.287,00
Brita	m ³	9	105,00	945,00
Impermeabilizante	lata 18 l	3	70,00	210,00
Adubo	m ³	1	120,00	120,00
Tubos de 100 mm	barra de 6 m	2	23,00	46,00
Mudas de Bananas	unidade	10	7,00	70,00
Caçamba de entulhos	caçamba	1	200,00	200,00
Pneus velhos	peça	40	0	0
TOTAL				4.900,00

Fonte: Produzida pelos autores com base em levantamento de preços na região do Distrito Federal, atualizados em junho de 2017.

PROCESSO DE INSTALAÇÃO DO TANQUE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Escolhido o local do terreno, foram fixadas estacas de madeira para delimitar o espaço do tanque. Para medir a área circular, o técnico responsável posicionou uma estaca no centro do futuro tanque e esticou uma linha com raio de 2,82 m. Para formar o plano circular da instalação, ele se deslocou em círculo a partir da estaca com a linha esticada.

A área do tanque foi escavada manualmente, na profundidade de 10 cm. A escavação foi feita com raio um metro maior que o raio do tanque, ou seja, 3,82 m. Após o terreno escavado estar bem nivelado, foi feito um preenchimento com 5 cm a 8 cm de concreto na proporção de 1 parte de cimento para 4 de areia e 2 de brita zero.

As telas de ferro foram cortadas e fixadas no chão sobre o piso de concreto, formando-se o desenho do fundo do tanque. Em seguida, fez-se a armação de ferro das paredes, posicionando a tela na linha do perímetro do círculo, de modo a formar uma “gaiola”. Depois de emendadas as tramas das paredes, foram feitas as amarrações de tela de mosquito em volta de toda a estrutura de ferro. Todas as amarrações foram feitas com arame recozido, com o uso de uma torquês.

Após o quadro de mosquito estar totalmente esticado e preso à “gaiola” de ferro, deu-se início à vedação propriamente dita. Utilizou-se uma argamassa preparada com duas partes de areia lavada média peneirada e uma de cimento, numa consistência considerada mole ou molhada. A vedação começou pelo fundo e depois foi feita nas paredes do tanque pelo lado de fora. A argamassa foi colocada com uma colher de pedreiro, passando-a sobre a tela de mosquito de cima para baixo. O tanque inteiro foi coberto com uma primeira demão de massa. Depois de seca, foram posicionadas as conexões de entrada e saída de água do tanque.

Para a segunda demão, utilizou-se a mesma massa preparada anteriormente, porém a aplicação se deu de forma diferente. A massa foi aplicada como um chapisco para se fazer reboco. A terceira demão foi feita dentro do tanque com composição igual da argamassa, tomando-se o cuidado de deixá-la sem ranhuras ou falhas.

Por fim, foi feita a impermeabilização com nata de cimento, adicionada de impermeabilizante, em todas as paredes do tanque, incluindo o piso do fundo. Essa nata consistiu numa mistura de cimento com água, sem areia, de consistência líquida. A aplicação foi feita com esponja de reboco.

A última etapa foi a montagem da tampa, seguindo os mesmos passos das paredes e fundo do tanque: 1) a tela de ferro foi cortada do tamanho da tampa; 2) a tela mosquiteira foi presa à tampa; 3) a tampa foi assentada e fixada sobre as paredes do tanque e sobre vigas de metalon, previamente assentadas sobre as paredes; 4) a argamassa foi aplicada, no início, de cima para baixo em duas demãos e, em seguida, invertendo o processo, de baixo para cima. Depois de finalizado o tanque, foram instalados os canos de entrada e de saída nas conexões já fixadas no tanque.

FIGURA 3 - PROCESSO DE ACABAMENTO DO TANQUE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA



Fonte: Produzida pelos autores.

FIGURA 2 - DESLOCAMENTO DA MALHA DE FERRO PARA O LOCAL DEFINITIVO



Fonte: Produzida pelos autores.

A capacidade de armazenamento do tanque de captação de água da chuva instalado é de 50.000 litros, o que traz, além dos benefícios ambientais que tratamos nesse trabalho, uma possibilidade de economia financeira de R\$ 996,00 mensais nos períodos de chuva, ao se considerar o custo de R\$ 498,00 por 50 m³ de água mais a cobrança de esgoto que é 100% vinculada ao consumo de água, conforme as quantias cobradas pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Tabela 2).

TABELA 2
CONSUMO DE ÁGUA MENSAL NA INSTITUIÇÃO CEDLAN DO DF

MÊS/ANO	CONSUMO (M ³)	CUSTO DA ÁGUA (R\$)	CUSTO DO ESGOTO (R\$)	TOTAL (R\$)
Agosto/2015	403	4.317,76	4.317,76	8.635,52
Setembro/2015	253	2.694,76	2.694,76	5.389,52
Outubro/2015	275	2.932,80	2.932,80	5.865,60

Fonte: Produzida pelos autores com dados fornecidos pela Gerência de Manutenção dos Serviços Públicos (GMASP) referentes às três últimas contas de água e esgoto pagas pela Secretaria de Educação do Governo do Distrito Federal para o consumo do Cedlan.

Ferraz e Silva (2015) analisaram, em seus estudos, a viabilidade de implantação de um sistema de captação de água proveniente de chuvas e de atividades caseiras comuns, como banhos e lavagens de roupas. De acordo com os resultados encontrados, os autores observaram uma redução de 50% na conta de água residencial emitida pela companhia para um consumo mínimo de 11 m³/mês de água utilizada, tendo o retorno do investimento em, aproximadamente, 54 meses. No entanto, esses autores afirmam que, para um consumo entre 26 a 40 m³/mês, o tempo de retorno reduz para um período inferior a um ano.

Camargo e Mendes (2013), em estudo sobre captação de água pluvial em um prédio na cidade de São Paulo, demonstraram que foi possível economizar até 175 m³ de água fornecida pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), sendo que o retorno do investimento foi recuperado ao longo de 13 meses após a implantação do projeto.

Em relação aos gastos para a construção do sistema de captação de água da chuva no Cedlan, os valores demonstram que o custo de materiais para implementação pode ser próximo aos gastos mensais da conta de água da escola, que se aproxima, em média, de R\$3.000,00, enquanto o valor dos materiais foi de R\$3.696,00 (Tabela 3).

TABELA 3
MATERIAL UTILIZADO E CUSTO PARA CONSTRUÇÃO DO TANQUE DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Telha	m ²	76	3,00	228,00
Ferro	Painel	10	170,00	1.700,00
Cimento 50kg	saco	49	20,00	980,00

(continua)

MATERIAL	UNIDADE	QUANTIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	TOTAL (R\$)
Areia	m ³	4	117,00	468,00
Impermeabilizante	lata 18 l	3	70,00	210,00
Conexões	peças	5	10,00	50,00
Arame	Kg	6	10,00	60,00
TOTAL				3.696,00

(conclusão)

Fonte: Produzida pelos autores com base em levantamento de preços na região do Distrito Federal, atualizados em junho de 2017.

Para sondar a qualidade da água, após armazenamento no tanque de captação, realizou-se a análise do líquido em laboratório da própria Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb). Foi criada, ainda, uma parceria para que a companhia fornecesse os dados da análise para a coleta realizada em maio de 2015.

A Portaria n. 2.914/2011 do Ministério da Saúde esclarece que, para garantir a qualidade físico-química e microbiológica da água, a turbidez deve apresentar um valor máximo permitido igual a 5,0 unidade de turbidez da água (NTU), ausência de coliformes totais e de *Escherichia coli* numa amostra de 100 ml de água coletada e pH na faixa de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2011).

Observou-se que os resultados dos ensaios microbiológicos da amostra do sistema de captação de água da chuva do Cedlan apresentaram medidas de coliformes totais menor que 1 NMP/100 ml e de *Escherichia coli* também menor que 1 NMP/100 ml, sendo esses valores aceitáveis para uso, sem comprometimento para a saúde dos usuários. O Conselho Nacional do Meio Ambiente, conforme Resolução n. 357/2005, determina que, para a irrigação de hortaliças que são ingeridas cruas, não deverá ser excedido o valor de 200 coliformes termotolerantes por 100 ml (BRASIL, 2005).

A análise de água do Cedlan possui dados contrários aos constatados por Anecchini (2005) em seus estudos de potabilidade de sistemas de captação da água. A autora encontrou valores altos de *Escherichia coli*, fora do aceitável para uso, e salientou que a água da chuva sofre perda de qualidade ao passar pela área de captação, pois acumula sujeira, como fezes de animais e/ou folhas de árvore, durante o período de estiagem, recomendando desprezar as primeiras precipitações pluviais. De fato, a perda da qualidade da água pode ocorrer. Por esse motivo, ao implementar o sistema de captação pluvial na unidade escolar, a equipe preocupou-se em desprezar as primeiras águas captadas no telhado, o que influenciou no resultado de coliformes totais e termotolerantes presentes no ensaio da amostra. É importante considerar que, quanto maior o volume de água descartada nas primeiras pancadas de chuva, melhor será a qualidade do líquido a ser direcionado ao reservatório.

Em relação ao pH, o ensaio da amostra apresentou valor 10, acima da faixa aconselhável pelo Ministério da Saúde, que é de 6-9 (BRASIL, 2011). É importante enfatizar que esse valor apresentado na amostra de água, possivelmente, é devido ao fato de existir uma alta concentração de cálcio na amostra (Tabela 4).

Em outros trabalhos para testes de qualidade da água, são encontrados resultados mais baixos de pH, demonstrando uma leve acidez do líquido do sistema. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Jaques (2005), que encontrou a água armazenada no tanque de captação com pH 5,6. Diante desses resultados, um ponto a se considerar nas medições é o pH do ensaio da amostra da água antes de entrar na cisterna. A depender da localidade/cidade, esse valor poderá influenciar no nível de acidez/alcalinidade da água da chuva captada a ser consumida após armazenamento no tanque.

Outro importante parâmetro a ser considerado é a turbidez que se denota na água coletada. Ela está relacionada às partículas sólidas em suspensão que interferem na claridade e transmissão da luz no meio. Os resultados apresentados na Tabela 04 é igual a 0,5 NTU, evidenciando que o valor está abaixo do máximo permitido, que é de 5,0 NTU (BRASIL, 2011). É possível afirmar que não há alteração na turbidez da água no sistema analisado e que não há detritos orgânicos e outras substâncias no tanque de armazenamento. Isso ocorre porque houve a preocupação em colocar uma tela, como uma espécie de filtro na boca inicial, onde há a conexão da calha com o cano, ligado ao tanque, diminuindo, assim, a turbidez da água.

TABELA 4
RESULTADOS DOS ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DA AMOSTRA DE ÁGUA* DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA DO CEDLAN

ANÁLISE	RESULTADO	UNIDADE	LQ	MÉTODO
Coliformes Totais	< 1	NMP/100ml	1	Substrato enzimático/ SM22 SM9223B
<i>Escherichia coli</i>	< 1	NMP/100ml	1	Substrato enzimático/ SM22 SM9223B
Turbidez	0,5	NTU	0,1	Nefelométrico / SM22 SM2130B
pH	10	--	0,1	Potenciométrico/ SM22 SM4500B

Legenda: LQ = limite de quantificação.

* Nota: A procedência da amostra foi: Lago Norte, Lote 24, Cedlan. Foi coletada por Joner Vargas em 22/05/2015, com o procedimento de coleta conforme a Agência Nacional de Águas (ANA), 03/10/2011.

Fonte: Produzida pelos autores com dados fornecidos pelo Laboratório de Análise de Águas da Caesb (Brasília/DF) conforme amostra n. 14759/2015.

MOBILIZAÇÃO COMUNITÁRIA E PARTICIPAÇÃO DOS ATORES

A mobilização e a participação da comunidade escolar na implantação do sistema de captação de água da chuva e da construção da bacia de evapotranspiração foram analisadas a partir da observação direta e de entrevistas com atores importantes da comunidade. Por meio da observação, notou-se que os participantes da proposta envolveram-se diretamente na construção das tecnologias sociais.

A coordenação e os professores tiveram um papel importante no planejamento e na escolha dos locais para implementação das tecnologias, bem como na organização e mobilização no restante da comunidade escolar. O projeto ocorreu de forma

integrada entre alunos, professores e os técnicos da equipe, havendo uma boa participação da comunidade escolar no processo.

Foi constatado, pela fala de um dos atores, que ainda é necessário um maior envolvimento por parte da coordenação e dos professores para o planejamento do uso das tecnologias. Um caminho apontado seria incluir atividades no Projeto Político Pedagógico da escola.

O nosso objetivo é que a escola dê continuidade ao uso das tecnologias após o término do projeto, mas acredito que tenha que existir um maior envolvimento por parte dos professores, pois são os atores que tem uma permanência maior na escola. Uma proposta é incluir no Projeto político Pedagógico da Escola o uso das tecnologias como instrumento pedagógico. (Professor do Cedlan).

Em relação à replicação dos sistemas, ainda não há relatos de multiplicação das tecnologias. Os atores afirmam que o custo para implementação em outros espaços da comunidade é um fator que restringe.

Eu aprendi bastante com os cursos e palestras que participei. O que estou aprendendo na escola, tento fazer em casa. Mas, coisas mais simples consigo fazer, agora estas tecnologias mais caras, não temos como implementar sem um financiamento. (Estudante do 2º ano do Ensino Médio).

Um dos fatos interessantes de projetos como esse é o surgimento de sujeitos ecológicos. Segundo Carvalho (2006), sujeito ecológico, em poucas palavras, é um modo de ser relacionado à adoção de um estilo de vida ecologicamente orientado. Trata-se de um conceito que dá nome àqueles aspectos da vida psíquica e social que são orientados por valores ecológicos. Durante o processo, vários sujeitos ecológicos podem ser despertados a contribuir com ações de transformação do ambiente.

O projeto me trouxe consciência sobre a relação que a gente tem com os recursos naturais, a importância que eles têm e os benefícios. Tenho agora essa consciência e mudou os meus hábitos, meu jeito de ver o mundo. (Estudante do 1º ano do Ensino Médio).

Os atores escolares interagiram com os elementos instalados, e as tecnologias passaram a ser utilizadas com fins pedagógicos pelos professores. Apesar de não haver relatos da difusão das duas tecnologias na comunidade, os elementos encontram-se em pleno funcionamento. As espécies de bananas nas bacias de evapotranspiração desenvolveram-se muito bem e são realizadas inúmeras colheitas. Em relação ao tanque de captação de água da chuva, houve uma manutenção com a impermeabilização para garantir a vedação de rachaduras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A maior parte da comunidade escolar não conhecia as tecnologias e passou a entender e discutir possibilidades de gestão das águas no ambiente escolar,

despertando a formação do sujeito ecológico que emerge para a construção de ação agroecológicas transformadoras.

Constatou-se que a gestão das águas, além de promover grande impacto para a sensibilização ambiental, é um fator importante para a diminuição das contas de água da escola. Com a utilização da água do sistema de captação pluvial poderá haver economia financeira. Logicamente, a diminuição de gasto de água reflete na diminuição nos gastos com esgoto.

O não lançamento de efluentes na rede de esgoto apresenta uma questão interessante para ser debatida, repensada e reformulada em nível de procedimentos adotados pelas companhias de saneamento. A intenção é sugerir políticas públicas que valorizem o uso de sistemas de bacias de evapotranspiração, impactando diretamente na não cobrança do sistema de esgotos pela Caesb, contribuindo, assim, com ações de sustentabilidade na região.

REFERÊNCIAS

- ALTIERE, Miguel. *Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável*. 4.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2004.
- ANNECCHINI, Karla P. V. *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.
- BARBOSA, Eduardo. *Instrumentos de coleta de dados em pesquisas educacionais*. Florianópolis: UFSC, 2008. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/Ensino_2013_2/Instrumento_Coleta_Dados_Pesquisas_Educacionais.pdf. Acesso em: 25 jun. 2017.
- BENJAMIM, Amboko M. *Bacia de evapotranspiração: tratamento de efluentes domésticos e de produção de alimentos*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011. Disponível em: http://bvs.ms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 23 jun. 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, ano 142, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- CAMARGO, Leandro O.; MENDES, Paulo Cesar D. Captação de água pluvial para fins não potáveis na Fatec de Itapetininga/SP. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 8., 2013, São Paulo. [Anais] [...]. São Paulo: Centro Paula Souza, 2013.

- CARVALHO, Isabel C. de M. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2006.
- DISTRITO FEDERAL. *Decreto n. 26.590, de 23 de fevereiro de 2006*. Regulamenta a Lei Nº. 442, de 10 de maio de 1993, que dispõe sobre a classificação de Tarifas dos Serviços de Água e Esgotos do Distrito Federal e dá outras providências. Brasília, 2006. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/51761/Decreto_26590_23_02_2006.html Acesso em: 25 jun. 2017.
- FERRAZ, Marshall F. A.; SILVA, Evaristo M. Estudo de viabilidade de um sistema de tratamento para reutilização de água em finalidades domiciliares diversas. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v.19, n.3, p. 702-712, set./dez., 2015.
- JAQUES, Reginaldo C. *Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações*. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- JESUS, Vanessa M. B.; COSTA, Adriano B. Tecnologia social: breve referencial teórico e experiências ilustrativas. In: COSTA, Adriano B. (org.). *Tecnologia social e políticas públicas*. São Paulo: Instituto Pólis, 2013. p.17-32.
- MANDAI, Pedro. *Modelo descritivo da implantação do sistema de tratamento de águas negras por evapotranspiração*. Monitoria Canário Verde. Brasília: Associação Novo Encanto de Desenvolvimento Ecológico, 2006. Relatório técnico.
- MARCONI, Marina; LAKATOS, Eva. *Técnicas de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.
- MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A.; MITTERMEIER, Cristina G.; FONSECA, Gustavo A. B.; KENT, Jennifer. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, London, v. 403, p. 853-858, 2000.
- NOVAES, Henrique T.; DIAS, Rafael. Contribuições ao marco analítico conceitual da TS. In: DAGNINO, Renato (org.). *Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade*. Campinas: Unicamp, 2009. p. 17-53.
- PAMPLONA, Sérgio; VENTURI, Marcelo. Esgoto à flor da terra. *Permacultura Brasil: Soluções Ecológicas*, Brasília, ano VI, v. 16, 2004.
- PAULO, Paula L.; BERNARDES, Fernando. *Estudo de tanque de evapotranspiração para o tratamento domiciliar de águas negras*. Campo Grande: UFMS, 2009. Disponível em: http://sustentavelnpratica.net/arquivos/estudo_fossa_evapotranspiracao.pdf Acesso em: 22 jun. 2017.
- SEVILLA-GUZMÁN, Eduardo. A perspectiva sociológica em Agroecologia: uma sistematização de seus métodos e técnicas. *Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v.3, n.1, p.18-28, jan./mar. 2002.



Desempenho lumínico das telhas translúcidas de tereftalato de etileno (PET) perante as de policarbonato e fibra de vidro

CHRISTIANE ROSA DE PAIVA
REGIS DE CASTRO FERREIRA

A arquitetura é a solução e a síntese de vários predicados de um “*contexto social, econômico, político, cultural, tecnológico e geoclimático por que passa uma sociedade*” (VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 3). Os aspectos do conforto ambiental são intrínsecos à construção de um edifício, uma vez que o homem busca o “abrigo” não só para se proteger das intempéries, mas, principalmente, em razão da evolução da tecnologia e do conceito de conforto, para encontrar bem-estar.

O conceito de “conforto”, aplicado neste contexto, pode ser entendido como a avaliação das exigências humanas, pois está baseada no princípio de que quanto maior for o esforço de adaptação do indivíduo, maior será sua sensação de desconforto. Mas o que seria este “maior esforço de adaptação”? Do ponto de vista fisiológico, o indivíduo dispõe de sistemas de percepção da luz, do som e do calor, que apesar de complexos são facilmente compreensíveis. (VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 3).

A satisfação do homem no que diz respeito ao edifício está ligada ao conceito de bem-estar relativamente às questões de conforto lumínico, térmico, acústico e de ventilação natural eficaz. Como dizia Louis Kahn (*apud* VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 3): “A qualidade do espaço é medida pela sua temperatura, sua iluminação, seu ambiente, e o modo pelo qual o espaço é servido de luz, ar e som deve ser incorporado ao conceito de espaço em si”.

No tocante à iluminação, nas diversas atividades que as pessoas realizam dentro de uma edificação, a visão delas necessita de condições específicas e ideais para que as atividades sejam realizadas com prazer e não causem dor ou fadiga. Se a atividade for ler ou escrever, ela se torna prazerosa e satisfatória se a área de trabalho estiver com quantidade ideal de iluminância, iluminada por igual e sem contrastes excessivos.

Se a atividade for, por exemplo, preparar uma refeição, a quantidade de iluminância também é importante, mas, sobretudo a reprodução de cores, que, caso esteja muito alterada, poderá conferir a um alimento saudável um aspecto de podridão.

A fim de que a permanência no interior da edificação seja prolongada, o conforto se torna imprescindível de forma a satisfazer as pessoas da melhor maneira possível, o que pode ser entendido a partir do princípio de que, quanto maior for o esforço do homem em se adaptar ao espaço de acordo com sua percepção visual, maior será a sensação de desconforto. Para realizar suas atividades, o homem necessita de condições ideais e específicas tanto na quantidade de luz quanto na ausência excessiva de efeitos de iluminação, como o contraste. O conforto lumínico é o que dará condições satisfatórias para que ele possa desempenhar bem suas funções visuais. Como cerca de 70% da percepção humana é visual, a luz torna-se parte fundamental da vida, do cotidiano, do modo de habitar, haja vista que, “desde que nasce, o homem está sendo submetido ao ritmo da natureza, da existência da noite e do dia, elementos que são condições necessárias para que ele se sinta pertencente ao próprio tempo.” (VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 27).

Uma boa iluminação natural nos períodos diurnos faz a diferença nas atividades realizadas no interior da edificação, como tarefas minuciosas ou o simples ato de percorrer pelo espaço. As aberturas nos ambientes são projetadas com o intuito de adequar a luminosidade e promover o conforto lumínico. Mas será que esse conforto está relacionado apenas ao quesito fisiológico? Segundo Hopkinson (*apud* VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 3), não, pois aquilo que “vemos depende não somente da qualidade física da luz ou da cor presente, mas também do estado de nossos olhos na hora da visão e da quantidade de experiência visual que nós temos de lançar mão para nos ajudar no julgamento”. Nesse sentido, como a nossa visão depende tanto da imagem focada na retina quanto da mente que a interpreta, podemos afirmar que o conforto está também relacionado com a interpretação sensorial do homem diante dos estímulos físicos de luz, calor, som, umidade, ventos, entre outros. O conforto, além de estar ligado aos fatores naturais externos à edificação, como o clima e suas variáveis – radiação solar, temperatura, umidade do ar, movimento dos ventos –, está relacionado ao emprego correto de materiais, de forma a potencializá-lo.

Em países como o Brasil, que possui clima quente, há preocupação com os efeitos térmicos desse clima, o que requer um superdimensionamento das proteções solares das edificações. Como a iluminação natural fica prejudicada com essas proteções, aumenta-se o uso da iluminação artificial em períodos diurnos.

Em residências [...] um bom aproveitamento em geral da luz diurna e dos raios solares diretos exerce um importante e positivo impacto na qualidade dos espaços e na vida dos usuários. Projetos desenvolvidos que considerem a busca da luz natural chegam a alcançar a iluminância requisitada dos interiores de 80% a 90% das horas diurnas do ano, economizando consideráveis quantidades de energia elétrica (VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 8).

É importante salientar que o potencial da economia pelo uso da luz natural está relacionado aos fatores climáticos, à localização, ao entorno e às características físicas e projetuais da edificação. “Quanto mais alta a latitude da cidade, menor a quantidade e qualidade da luz disponível, na mesma medida em que aumentam as necessidades de aquecimento” (VIANNA; GONÇALVES, 2004, p. 8). Com vistas à redução do consumo de energia e à minimização dos impactos negativos na natureza, a “tecnologia da transparência”, ocasionada pela tomada da “consciência verde”, lançou no mercado de construção vários produtos, como as telhas translúcidas.

Vive-se em um mundo em que, cada vez mais, são usados nossos recursos naturais. O crescimento desordenado e a deturpação do conceito de desenvolvimento estão levando ao esgotamento de nossas reservas naturais, sobretudo da água. A transformação desse recurso natural em energia elétrica é um dos fatores de maior impacto e elevação do potencial do esgotamento das reservas. Portanto, qualquer medida tomada a fim de remediar ou até diminuir a exploração dos recursos é considerada bem-vinda. Conservar energia elétrica ou combater seu desperdício poderá amenizar a agressão ao meio ambiente, mas diminuir esse desperdício sem interferir diretamente no conforto é um desafio.

É chegada uma era em que a sociedade de consumo tem que mudar definitivamente sua conduta. O aumento disparado do consumo nas últimas décadas e as projeções indicadas para as próximas indicam que chegaremos brevemente a uma grave situação, devido ao impacto que esse consumo causará não somente na oferta de água, mas também na qualidade do ar, na sobrevivência das florestas, no clima, na diversidade biológica e na saúde humana (GARDNER; ASSADOURIAN; SARIN, 2004).

Entretanto, nem tudo está perdido. Defensores do consumo, economistas, legisladores e ambientalistas vêm desenvolvendo opções criativas para atender às necessidades das pessoas e, ao mesmo tempo, reduzir custos ambientais e sociais associados ao consumo em massa. Além de ajudar as pessoas a encontrar o equilíbrio entre muito e pouco consumo, dão ênfase a bens e serviços públicos, a serviços em lugar de bens, a bens com maior teor de reciclados e a alternativas genuínas para os consumidores (GARDNER; ASSADOURIAN; SARIN, 2004, p. 4).

O consumo não é de todo um mal. As pessoas precisam consumir para sobreviver e ter condições dignas de vida. O consumo dá oportunidade para melhores condições das necessidades individuais, como habitação, alimentação, saneamento, energia, ou seja, permite aos indivíduos uma maior dignidade e autoestima (FELDMANN, 2003).

Porém o consumo ameaça o bem-estar das pessoas e do meio ambiente quando se torna um fim de si mesmo – quando se torna o principal objetivo de vida de um indivíduo, por exemplo, ou a medida máxima de sucesso da política econômica de um governo. As economias de consumo em massa que geraram um mundo de abundância para muitos no século XX veem-se frente a um desafio diferente no século XXI: focar não o acúmulo indefinido de bens, e sim uma melhor qualidade de vida a todos, com o mínimo de dano ambiental (GARDNER; ASSADOURIAN; SARIN, 2004, p. 5).

O crescimento do consumo, de modo geral, fez que aumentasse a demanda pelo uso de materiais plásticos. A fim de abranger vários setores do mercado, essa demanda resultou em uma grande variedade de produtos. De todos os tipos de plástico, o tereftalato de etileno (PET) é o mais conhecido e mais apropriado para a fabricação de várias embalagens de gêneros alimentícios, entre os quais se destacam as garrafas de refrigerantes. Associada ao consumo desses produtos está a produção de lixo urbano, cujo aumento é proporcional à industrialização. Embora gere crescimento populacional e econômico, principalmente em países em desenvolvimento, a atividade industrial pode levar à desordenação do meio ambiente, ao produzir materiais descartáveis de difícil decomposição, os quais têm sido lançados no meio ambiente sem os devidos cuidados.

Segundo levantamento realizado em 2016 pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram gerados 78,3 milhões de toneladas/ano de resíduos sólidos urbanos (RSU) em todo o Brasil e uma disposição final de 41,7 milhões de toneladas enviadas para os aterros sanitários (ABRELPE, 2016). Há um ponto pacífico na discussão sobre a disposição desses resíduos em aterros sanitários: o entendimento de que esses resíduos devem ter uma gestão adequada a fim de evitar a degradação do meio ambiente. Essa gestão, associada à transformação desses resíduos para o retorno ao uso, e a educação ambiental são medidas essenciais para garantir o aproveitamento da totalidade da vida útil dos materiais e evitar que sejam foco de contaminação ambiental (SUZUKI, 2009).

A presente pesquisa tem o objetivo de caracterizar o tereftalato de etileno (PET) sob o ponto de vista do conforto ambiental, apresentando-o como alternativa de maior valor agregado, mediante a análise de suas propriedades óticas e a determinação de suas principais propriedades e parâmetros relativos à iluminação natural. Visa-se, com este estudo, oferecer subsídios para a escolha do PET como material a ser utilizado na construção civil.

REFERENCIAL TEÓRICO

OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E O MEIO AMBIENTE

No que se refere aos Resíduos Sólidos Urbanos, a Agenda 21 indica ações para obter seu gerenciamento adequado: a redução da produção de resíduos; a exaltação das práticas de reutilização e reciclagem de forma ambientalmente correta; a promoção de sistemas de tratamento e disposição de resíduos compatíveis com a preservação ambiental; e maior alcance na cobertura dos serviços de recolhimento e destino final (BRASIL, 1999).

Na contramão do crescimento econômico há a necessidade de implementação de uma política ambiental que direcione esforços a fim de reduzir a geração dos resíduos urbanos. A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída pela Lei Federal

n. 12.305/2010 veio dar diretrizes de gestão e gerenciamento desses resíduos assim como a prática de hábitos de consumo sustentável (BRASIL, 2010). O desenvolvimento sustentável é uma prática que objetiva a melhoria do ambiente construído assegurando a utilização de materiais de forma a não prejudicar o meio ambiente.

Com o crescimento do consumo de materiais plásticos, a utilização dos polímeros, elementos químicos formados por longas moléculas com massa molecular elevada, foi tão difundida que é difícil encontrar uma atividade humana que não faça uso de algum desses materiais. Entre os tipos mais consumidos estão o polietileno de alta densidade (PEAD), o polipropileno (PP) e o politereftalato de etileno (PET). Este último se tornou o mais conhecido por ser o escolhido das empresas de refrigerante, principalmente por suas propriedades mecânicas que facilitam a de manipulação de suas embalagens.

O PET (POLITEREFTALATO DE ETILENO)

Whinfield e Dickson, dois químicos britânicos, descobriram no ano de 1941 um polímero termoplástico, obtido pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. Contudo, foi somente após a Segunda Guerra Mundial, nos anos 1950, nos Estados Unidos e na Europa, que se desenvolveu a pesquisa desse polímero para a produção em larga escala do poliéster, que se baseava, quase que totalmente, nas aplicações têxteis. A partir da década de 1970, o uso do polímero foi difundido como o melhor e mais resistente plástico no emprego da produção de “garrafas e embalagens para refrigerantes, águas, sucos, óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos, cervejas, [...] chapas e cabos para escova de dente” (ABIPET, 2009).

O politereftalato de etileno (PET) é totalmente reciclável e, na sua composição, não libera nenhum produto químico. Por sua difícil decomposição nos aterros sanitários, tem na reciclagem uma grande aliada na perpetuação de sua produção. Esse polímero termoplástico prejudica a decomposição de matérias orgânicas, por impossibilitar a passagem de gases e líquidos. Por isso, faz-se necessária sua reciclagem, seja para reuso ou para utilização em diversos tipos de artesanato, brinquedos, vasos ou reciclado pelo processo de termoreação, pelo qual, devido ao aumento de temperatura, o polímero se torna líquido, podendo ser moldado em várias formas.

Do ponto de vista industrial, a reciclagem de PET no Brasil ainda é uma atividade recente. Datam de pouco mais de uma década o estímulo à reciclagem desse tipo de produto e a criação de associações e cooperativas indicando o descarte adequado a esse tipo de embalagem pós-consumo. Há indústrias recicladoras em todo o território nacional, criadas, primordialmente, para guarnecer uma questão ambiental, mas que culminou em uma questão de ordem social com geração de empregos e renda.

Símbolo normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o triângulo da reciclagem, juntamente com a numeração adequada do tipo de plástico – que, no caso do PET, é o número 1 (um) – é de fundamental importância para a reciclagem.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (Abipet), o PET é um material que proporciona alta resistência mecânica (impacto) e química, além de ter excelente barreira para gases e odores. Devido as características já citadas e o peso muito menor que das embalagens tradicionais, o PET mostrou ser o recipiente ideal para a indústria de bebidas em todo o mundo, reduzindo custos de transporte e produção. Por isso tudo, oferece ao consumidor um produto substancialmente mais barato, seguro e moderno. (ABIPET, 2009).

Por oferecer uma excelente resistência mecânica, suportar altas temperaturas – cerca de 85°C, 35°C a mais do que normalmente se encontra na superfície dos telhados –, não propagar chamas, ter peso baixo e uma expectativa de vida útil de aproximadamente 40 anos (TELHAS LEVE, 2009), esse material também tem sido usado em coberturas como telhas translúcidas ou opacas.

O PROCESSO DE RECICLAGEM DO PET

Segundo a Abipet, existem três tipos diferentes de reciclagem de embalagens PET: a reciclagem química, a reciclagem energética e a reciclagem mecânica. Ainda não aplicada no Brasil, a reciclagem química – que é empregada para outros produtos plásticos – “desmonta” o polímero, separando os componentes das matérias-primas do PET; a reciclagem energética – que não é tão usada para o PET devido a seu alto valor – queima os materiais combustíveis para aproveitá-los na geração de energia elétrica (usinas termelétricas) e na alimentação de caldeiras e altos-fornos; a reciclagem mecânica, processo mais utilizado no Brasil, compõe-se de três fases:

(1) Recuperação: as embalagens recuperadas do lixo ou separadas pela coleta seletiva pós-consumo são prensadas e amarradas, o que é feito para facilitar o transporte. O modelo da prensa utilizada depende do volume, da intensidade do uso e dos recursos financeiros para esse fim. Após passar pela prensa, a matéria-prima é amarrada com cintas de PET reciclada, cordas ou cordões. Outros materiais não são indicados devido a questões de segurança.

(2) Revalorização: as embalagens são moídas, resultando no produto chamado floco da garrafa. Para produzir esse floco, é realizado o seguinte processo: os fardos são desfeitos em uma plataforma e, em seguida, são colocados na esteira de alimentação, onde são feitas a primeira etapa de lavagem das garrafas e a retirada de pedras e tampas soltas. Em seguida, as garrafas vão para a esteira de seleção, onde é detectada a presença de materiais diversos como PVC e metais ferrosos. Depois dessa etapa, as garrafas seguem para o primeiro moinho e sofrem a primeira moagem, que é efetuada com adição de água. O material moído é separado de parte da água suja e é introduzido nos tanques de descontaminação. Na sequência, é feita a separação de rótulos e tampas e são adicionados produtos químicos ao material, que, então, é transferido para o segundo moinho, onde é processado até obter uma granulometria adequada. Posteriormente ao enxágue,

o material passa pela secagem e, por fim, após ser analisado em um detector de metais não ferrosos, é enviado para indústrias de transformação.

(3) Transformação: nesta última fase, o floco é transformado em um novo produto.

O PET TRANSFORMADO EM TELHA PARA COBERTURA

Existem no mercado brasileiro algumas empresas que trabalham com a tecnologia de transformação do PET em telhas de cobertura por extrusão ou injeção. Dentre elas se destacam a indústria Telhas Leve, localizada em Manaus/AM, e a indústria Lubian – Telhas Coloniais Translúcidas, localizada em Cajamar/SP. A tecnologia é nacional, patenteada pelo INPI e desenvolvida no ano de 1997 pelos sócios da Telhas Leve Luiz Gonzaga de Oliveira Formariz e Luiz Antônio Pereira Formariz. Vale ressaltar que as duas empresas terceirizam a coleta desse material para as associações de catadores.

Após a coleta, o PET passa por duas lavagens: a primeira para retirada dos rótulos, tampas e outras impurezas e a segunda para a lavagem final. Em seguida, é feita a secagem das garrafas. Após essa etapa, as embalagens são moídas sem a separação por cores. Depois de misturado, o material recebe pigmentação para gerar a cor desejada e é transformado em polímero. Com os flocos, são criados vários tipos de telha em cores diversas, desde as translúcidas até as opacas que se assemelham visualmente às cerâmicas. Por não apresentarem porosidades, elas evitam o acúmulo de umidade e mofo, ao contrário das telhas cerâmicas que necessitam de manutenção de limpeza constante.

Para a instalação da cobertura, são usados pinos de fixação existentes nas telhas que, juntamente com braçadeiras de nylon, são fixadas às ripas.

METODOLOGIA

O objeto da pesquisa foram três tipos de material translúcido, usados em coberturas: um deles, de resíduo sólido urbano, é o PET; os outros dois, os principais produtos usados em cobertura translúcida disponíveis no mercado, são o polycarbonato e a fibra de vidro. Foram coletados materiais com sua especificação correspondente, a fim de empregar método comparativo segundo princípios lumínicos, cada um deles em duas cores translúcidas: o transparente incolor e o transparente de cor verde.

CORTE E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras dos materiais foram cortadas nas dimensões aproximadas de 1,0 cm x 2,0 cm, para melhor ajuste no aparelho espectrofotômetro, lavadas com água e detergente neutro e secadas. Nos ensaios de transmissão no intervalo de 190 nm a 1.100 nm, utilizou-se o aparelho modelo T80+ UV/VIS, marca PG Instruments Ltd. do Instituto de Física da Universidade Federal de Goiás.

Para melhor compreensão dos resultados, as amostras foram separadas em grupos por cores. Na Tabela 1, apresentam-se os dados dos materiais transparentes incolores analisados neste estudo.

TABELA 1

MATERIAIS TRANSPARENTES INCOLORES

TIPO DE MATERIAL	CÓDIGO DA AMOSTRA	DENOMINAÇÃO COMERCIAL/COR	ESPESSURA DO MATERIAL (MM)
PET	MI-01	translúcida	0,9
Policarbonato	MI-02	crystal	0,8
Fibra de vidro	MI-03	incolor	0,7

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 2, apresentam-se os dados dos materiais transparentes verdes.

TABELA 2

MATERIAIS TRANSPARENTES VERDES

TIPO DE MATERIAL	CÓDIGO DA AMOSTRA	DENOMINAÇÃO COMERCIAL/COR	ESPESSURA DO MATERIAL (MM)
PET	MV-01	verde	0,9
Policarbonato	MV-02	verde	0,8
Fibra de vidro	MV-03	verde	0,7

Fonte: Elaborada pelos autores.

ANÁLISE ESPECTROFOTOMÉTRICA

A análise espectrofotométrica é o método mais apropriado para encontrar resultados como a porcentagem de transmissão, reflexão e absorção do espectro solar de cada uma das amostras coletadas. Os espectrofotômetros são instrumentos que facilitam a operação na busca desses resultados, por possuírem um microcomputador eletrônico embutido que utiliza luz na faixa do visível do ultravioleta (UV), próximo do infravermelho que passa pela amostra e mede a quantidade de luz absorvida pela amostra.

As amostras foram ensaiadas no intervalo de comprimento de onda de 190 nm a 1.100 nm, com subdivisões de 190 nm a 290 nm, 290 nm a 780 nm e 780 nm a 1.100 nm.

Parâmetros de trabalho

Foram seguidos os seguintes parâmetros nos ensaios de transmissão:

- intervalo do espectro medido entre 190 nm a 1.100 nm;
- velocidade rápida (*fast*) de varredura;
- intervalo de leitura de 5 nm dentro do espectro;
- groca de lâmpada automática de 330 nm.

Ensaio espectrofotométrico

Após a configuração dos parâmetros de trabalho, foi colocado um material plástico opaco da cor preta no compartimento para leitura, a fim de servir como linha de base ou regulador para o ensaio, resultando em aproximadamente 100% de transmissão (Tabela 3).

TABELA 3

TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR EM AMOSTRAS PLÁSTICAS OPACAS DA COR PRETA

CÓDIGO DA AMOSTRA	ULTRAVIOLETA - UV (%) 290 NM A 320 NM	VISÍVEL - VIS (%) 380 NM A 780 NM	INFRAVERMELHO - IV (%) 780 NM A 1100 NM	TOTAL (%) 290 NM A 1100 NM	RAZÃO VIS/IV
Opaco	98,85	99,32	98,99	99,14	1,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

Todas as amostras do ensaio foram colocadas perpendicularmente na base do compartimento, fazendo com que o feixe incidisse também nessa posição sobre a amostra, de maneira a ocorrer uma maior transmissão dos raios de luz, situação considerada mais crítica.

As leituras foram feitas com o intervalo de 5 nm, e as porcentagens de cada região espectral agrupadas dentro de uma mesma faixa, surgindo o desenho de um gráfico com a leitura de comprimento de onda e porcentagem de transmissão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AMOSTRAS TRANSPARENTES INCOLORES

Na Tabela 4, apresenta-se a transmissão dos diferentes espectros da radiação solar para as amostras incolores.

TABELA 4

TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR EM AMOSTRAS INCOLORES

CÓDIGO DA AMOSTRA	ULTRAVIOLETA - UV (%) 290 NM A 320 NM	VISÍVEL - VIS (%) 380 NM A 780 NM	INFRAVERMELHO - IV (%) 780 NM A 1100 NM	TOTAL (%) 290 NM A 1100 NM	RAZÃO VIS/IV
MI-1	19,83	67,75	71,28	63,62	0,95
MI-2	0,51	80,20	84,04	72,55	0,95
MI-3	2,58	45,90	62,59	47,48	0,73

Legenda: MI corresponde a material transparente incolor, MI-1 a amostra transparente incolor de PET, MI-2 a amostra transparente incolor de policarbonato e MI-3 a amostra transparente incolor de fibra de vidro.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base na análise dos dados, encontraram-se os seguintes resultados:

1. Ultravioleta: no PET incolor, a transmissão dos raios ultravioletas é alta, com valores acima de 45%; nas demais amostras, a transmissão tem comportamento bem mais baixo, especialmente na amostra de policarbonato incolor.

2. Visível: as amostras incolores são transparentes no aspecto visível, gerando, com seu emprego, alta luminosidade no ambiente. Já o policarbonato obteve comportamento mais eficaz.
3. Infravermelho: o comportamento da fibra de vidro tem índice mais relevante em comparação com o PET, que possui comportamento aproximado. O policarbonato possui índices elevados de carga térmica.
4. Total: para as amostras transparentes incolores, ficou acima de 45%. Por esse motivo, esse material deve ser utilizado com critério e cuidado, principalmente no ponto de vista térmico. Há de se observar que um nível maior de iluminância (lux) acarreta também um maior ganho de calor, que ensejará problemas térmicos, menos conforto para o usuário e um uso mais frequente de aparelhos de ar-condicionado, resultando em maior consumo de energia elétrica (VIANNA; GONÇALVES, 2004).

Comparando-se os resultados experimentais das amostras transparentes incolores com os resultados experimentais do vidro comum incolor de 3 mm de espessura (Tabela 5), observa-se que nenhuma das amostras avaliadas se aproxima do alto índice de transmissão de UV da amostra de vidro; quanto aos demais cumprimentos de onda, das amostras avaliadas a que mais se aproxima do vidro é a amostra de policarbonato (PEREIRA, 2007).

TABELA 5

TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR EM AMOSTRA DE VIDRO COMUM INCOLOR DE 3 MM

AMOSTRA	ULTRAVIOLETA - UV (%) 290 NM A 320 NM	VISÍVEL - VIS (%) 380 NM A 780 NM	INFRAVERMELHO - IV (%) 780 NM A 1100 NM	TOTAL (%) 290 NM A 1100 NM	RAZÃO VIS/IV
VI 3mm ¹	50,35	89,45	86,76	85,31	1,03

Fonte: Adaptado de Pereira (2007).

AMOSTRAS TRANSPARENTES COR VERDE

Na Tabela 6, apresenta-se a transmissão da radiação solar para as amostras da cor verde.

TABELA 6

TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO SOLAR EM AMOSTRAS DA COR VERDE

CÓDIGO DA AMOSTRA	ULTRAVIOLETA - UV (%) 290 NM A 320 NM	VISÍVEL - VIS (%) 380 NM A 780 NM	INFRAVERMELHO - IV (%) 780 A 1100 NM	TOTAL (%) 290 A 1100 NM	RAZÃO VIS/IV
MV-1	13,12	47,40	71,56	52,63	0,66
MV-2	7,39	63,61	74,38	61,38	0,85
MV-3	0,62	16,37	35,80	23,45	0,45

Legenda: MV corresponde a material transparente verde, MV-1 a amostra transparente verde de PET, MV-2 a amostra transparente verde de policarbonato e MV-3 a amostra transparente verde de fibra de vidro.

Fonte: Elaborada pelos autores.

¹ Vidro comum incolor de 3 mm de espessura.

Com base na análise dos dados, encontraram-se os seguintes resultados:

1. Ultravioleta: a transmissão dos raios ultravioleta é variável de acordo com os diferentes materiais. Continua mais alta no PET, mas com valores abaixo de 15%. Na fibra de vidro, a transmissão é muito pequena, com valor abaixo de 1%.
2. Visível: as amostras tiveram bastante oscilação no aspecto visível, principalmente a amostra de PET. A amostra de polycarbonato mostrou-se no espectro visível com maior luminosidade.
3. Infravermelho: o comportamento do PET e do polycarbonato são semelhantes; a fibra de vidro tem melhor resultado em comparação com as demais amostras.

CUSTO MÉDIO DOS MATERIAIS

Os custos apresentados na Tabela 7 são os valores médios praticados e cotizados em revendedores da cidade de Goiânia no mês de janeiro de 2018.

TABELA 7
CUSTO MÉDIO DOS MATERIAIS AVALIADOS

MATERIAL	CUSTO DO M ² (R\$)
PET	114,73
Polycarbonato incolor	90,47
Polycarbonato verde	94,99
Fibra de vidro	16,79

Fonte: Elaborada pelos autores.

Atualmente, o mercado possui vários modelos e marcas de telhas de PET, com valores que oscilam entre R\$ 9,69 e R\$ 25,90. O valor cotado foi do tipo Eurotop Voga, da marca Lubian (0,33 x 0,425) m², a R\$ 16,39 a peça, sendo que são necessárias 7 unidades de telha por m² (tamanho útil). As telhas de PET possuem o mesmo custo do material incolor transparente e verde transparente.

As telhas de polycarbonato possuem diferença de custo de material da forma transparente incolor para a forma com cores. A telha incolor transparente ondulada, do tipo Onduclair PC (2,00 x 0,95 x 0,038) m³, foi cotada a R\$ 171,90 a placa, enquanto a de cor verde transparente é 5% mais onerosa.

Nas telhas de fibra de vidro também não existe diferença entre o custo em relação às cores. Ambas são fabricadas sob encomenda a R\$ 16,79 o metro quadrado.

ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS TRANSLÚCIDOS X CONFORTO AMBIENTAL

Mediante os resultados do ensaio espectrofotométrico das amostras de PET, polycarbonato e fibra de vidro, nota-se que, além do tipo de material analisado, houve diferença de potencialidade de acordo com o comprimento de onda analisado.

Na Tabela 8, apresenta-se uma síntese da análise do desempenho das amostras,

em uma escala de 1 a 3, de pior para melhor, segundo o ensaio de transmissão feito no espectrofotômetro.

TABELA 8

ESCALA DE DESEMPENHO ENTRE OS DIFERENTES MATERIAIS.

COMPRIMENTO DE ONDA	MATERIAL	TRANSPARENTE INCOLOR	TRANSPARENTE VERDE	COMPARAÇÃO*
		AVALIAÇÃO	AVALIAÇÃO	
Ultravioleta	PET	1	1	=
	Polycarbonato	3	2	↓
	Fibra de vidro	2	3	↑
Visível	PET	2	2	=
	Polycarbonato	3	3	=
	Fibra de vidro	1	1	=
Infravermelho	PET	2	1	↓
	Polycarbonato	1	1	=
	Fibra de vidro	3	3	=

Nota: * Desempenho dos materiais de mesmo tipo e cores diferentes (↓ posição piorada; = mesma posição; ↑ posição melhorada).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em relação à diferença de cor entre os tipos de materiais, pode-se afirmar que no material de PET no espectro do UV não há diferença entre o transparente incolor e o transparente verde: 19,83% e 13,12%, respectivamente; no espectro visível, o PET incolor apresentou maior luminosidade; e no espectro de infravermelho, as duas cores também tiveram comportamento semelhante: 71,28% e 71,56%. No polycarbonato no espectro do UV, o comportamento da amostra incolor obteve nível mais baixo de transmissão: 0,51%; no espectro visível, o comportamento da amostra incolor foi mais favorável para a admissão de luminosidade: 80,20%; e no de infravermelho, a amostra verde conseguiu amenizar melhor a transmissão do espectro responsável pela radiação térmica, e, portanto, aumento de carga térmica: 74,38%. A fibra de vidro no espectro do UV proporcionou menor transmissão na amostra verde: 0,62%; no espectro visível, a amostra incolor alcançou melhor comportamento mediante a uma menor transmissão do espectro infravermelho nessa mesma amostra: 45,90% visível a 62,59% de infravermelho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conforto ambiental é um quesito no projeto de arquitetura que deve ser priorizado no ato da concepção da ideia. Agregar o conforto térmico e lumínico ao uso sistemático da economia de energia é o correto e o necessário para a atual geração. No mercado da construção, existem diversos materiais translúcidos que, juntamente com os opacos, podem ser usados nas coberturas das edificações a fim de aproveitar a luz

natural para amenizar os efeitos do uso da energia elétrica não comedida. Esses diferentes materiais possuem características ópticas semelhantes, mas não uniformes. As informações geradas com o uso da técnica espectrofotométrica, juntamente com o estudo da orientação, distribuição de luz, inclinação das coberturas e disposição de aberturas laterais e zenitais, são instrumentos imprescindíveis em um ambiente confortável e economicamente saudável.

Os materiais translúcidos analisados apresentaram uma oscilação de eficiência, segundo os diferentes comprimentos de onda e na troca da cor do material.

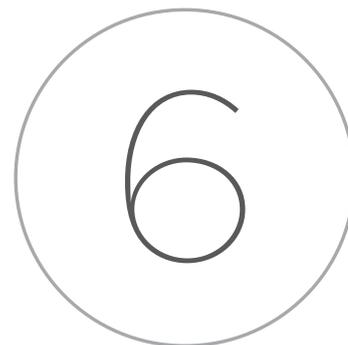
O polycarbonato transparente incolor obteve ótimo desempenho na transmissão dos raios UV, mediante os baixos valores, e do espectro visível, mediante altos valores de transmissão. O polycarbonato transparente, por sua vez, mostrou o pior desempenho na transmissão de infravermelho, fato que gera alta incidência de radiação térmica. O transparente verde teve bom desempenho, mas não melhor que o incolor na transmissão de UV e luz visível; mas na transmissão de infravermelho obteve melhor comportamento que o incolor. Dos materiais transparentes incolores o polycarbonato é o mais eficaz.

A fibra de vidro transparente incolor mostrou bom desempenho na luz visível, no infravermelho e na transmissão de UV, na qual, contudo, não foi melhor que o polycarbonato. A amostra transparente verde demonstrou bom desempenho na transmissão de UV e infravermelho, mas não na luz visível. Dos materiais transparentes verdes estudados, a fibra de vidro obteve melhor desempenho.

O PET não obteve o comportamento esperado no quesito de eficiência térmica e lumínica, em comparação com os demais materiais estudados. As amostras desse polímero, em ambas as cores, apresentaram o pior comportamento em relação à transmissão de UV, em comparação com as demais amostras já consagradas no mercado como materiais de cobertura. A amostra transparente verde demonstrou a pior transmissão de infravermelho, mas obteve boa classificação em relação à luz visível e à infravermelha, só não teve melhor desempenho que o polycarbonato e a fibra de vidro. Em relação ao custo, pode-se observar que é mais onerosa o uso de PET na instalação de telhados, devido aos gastos com a obtenção da matéria-prima, que envolve a coleta por associações terceirizadas, a separação e a preparação dos materiais e o transporte do produto (esse material tem produção somente no Norte e no Sudeste). Entretanto, em relação ao quesito de reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos descartados no meio ambiente, o PET possui melhor desempenho, uma vez que o material é encontrado em abundância e pode ser transformado e reaproveitado, amenizando os impactos negativos no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET). *Reciclagem*. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/reciclagem.php>. Acesso em: 22 set. 2009. Não paginado.
- ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016*. São Paulo: Abrelpe, 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Agenda 21 Brasileira: bases para a discussão*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1999.
- BRASIL. *Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>. Acesso em: 10 jan. 2018.
- FELDMANN, Fábio. Consumismo. In: TRIGUEIRO, André (coord.). *Meio ambiente no século 21*. Rio de Janeiro: Sextante, 2003. p. 143–157.
- GARDNER, Gary; ASSADOURIAN, Erik; SARIN, Radhika. O estado do consumo hoje. In: WORLDWATCH INSTITUTE. *Estado do Mundo, 2004: estado do consumo e o consumo sustentável*. Trad. Henry Mallett e Célia Mallett. Salvador: Uma, 2004. p. 3–27.
- PEREIRA, Elza G. da S. A. *Caracterização ótica de vidros e películas de proteção solar utilizados na construção civil e sua relação com o conforto ambiental*. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.
- SUZUKI, Juliana A. N.; GOMES, João. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 155–158, 2009.
- TELHAS LEVE. *Informações adicionais: características e resistências*. Disponível em: <http://www.telhasleve.com.br/interna.php?pagina=informacoes>. Acesso em: 22 set. 2009.
- VIANNA, Nelson S.; GONÇALVES, Joana C. S. *Iluminação e arquitetura*. 2. ed. São Paulo: Geros, 2004.



Resíduos agroindustriais substituindo indutores sintéticos na produção de lacase fúngica

JHÉSSICA CAVALCANTE S. GOLVEIA
MARIÂNGELA F. SANTIAGO
MARIA TERESA FREITAS BARA
LAIS CAMARGO DE LACERDA MEDRADO

Lacase é uma multicobre oxidase que catalisa a oxidação de moléculas fenólicas com a redução concomitante de oxigênio a água. Devido às suas propriedades, que a tornam altamente útil, foi amplamente estudada para várias aplicações biotecnológicas. Sua versatilidade de especificidade do substrato, com alta capacidade para catalisar uma variedade de reações, tornam a lacase uma das enzimas fúngicas mais importantes. Várias aplicações foram relatadas, como na indústria de alimentos (SCHROEDER *et al.*, 2008), na indústria têxtil (MURUGESAN *et al.*, 2007), na nanobiotecnologia (ARORA; SHARMA, 2010) e na biorremediação de vários micropoluentes (LLORET *et al.*, 2010).

A espécie *Pycnoporus sanguineus* faz parte do grande grupo de basidiomicetos de decomposição branca. Produz grandes quantidades de enzimas capazes de degradar biopolímeros, como lacase e celulase, que são utilizadas para múltiplos usos na biotecnologia (TEOH; MASHITAH, 2010).

Em aplicações industriais e ambientais, normalmente é requerida grande quantidade de lacase a baixo custo. Como não há um indutor de lacase comum a todos os fungos, torna-se necessário procurar novos microrganismos produtores dessa enzima e, em paralelo, desenvolver estratégias que possibilitem uma alta produtividade (ELISASHVILI *et al.*, 2008). Os compostos fenólicos com estrutura semelhante à dos derivados de lignina são geralmente adicionados ao meio de cultura para aumentar essa produtividade (PISCITELLI *et al.*, 2011). Diversos compostos já foram descritos como indutores de produção de lacase fúngica, tais como 2,5-xilidina e CuSO_4 (CHEN; GE; BUSWELL, 2004), no entanto muitos deles têm elevada toxicidade e alto custo.

Para reduzir o custo da produção de lacase, o uso de resíduos agroindustriais contendo indutores dessa enzima é uma estratégia alternativa efetiva (GONZALEZ *et al.*, 2013).

O bioprocesso com resíduos agrícolas, como sementes e caules, utiliza-os como substratos alternativos, aproveitando o que seria descartado na natureza (PANDEY *et al.*, 2000). Esses resíduos são fontes de proteínas, fibras e óleos e podem ser empregados no desenvolvimento de produtos de maior valor agregado, com aplicações como fontes de energia ou matérias-primas na indústria de bioconversão do etanol e na produção de ácidos graxos voláteis e de enzimas de importância comercial (YIN *et al.*, 2014).

O Brasil é um dos países com maior produção agrícola do mundo (OECD, 2014). Açaí, milho e cana-de-açúcar estão entre as espécies mais cultivadas de maior interesse econômico na indústria de alimentos, de cosméticos e de combustível, por exemplo. Por conseguinte, são produzidas grandes quantidades de resíduos lignocelulósicos, o que pode causar vários problemas ambientais caso não haja um descarte adequado. Assim, como o interesse por formas de uso sustentável dos rejeitos agroindustriais e de agregação de valor ao uso desses materiais mostra-se crescente, o desenvolvimento de bioprocessos para esse fim tem ganhado destaque (FONSECA-MALDONADO *et al.*, 2014; PARENTI *et al.*, 2013).

Diante do exposto, torna-se importante investigar o uso dos resíduos agroindustriais como alternativa aos indutores sintéticos na produção de lacase fúngica. Essa pesquisa contribui com a solução de várias questões ambientais, como o uso de resíduos agroindustriais, a não utilização de reagentes ecotóxicos para a produção de grandes quantidades de lacase e a potencial aplicação dos extratos enzimáticos obtidos na biorremediação de micropoluentes presentes no meio ambiente.

MÉTODOS

Os resíduos vegetais de escolha para a seleção de indutores naturais foram sabugo de milho (*Zea mays* L. Poaceae), fruto/semente de açaí (*Euterpe oleracea* Mart. Arecaceae) e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum* L. Poaceae), doadas por agroindústrias de Goiás, Brasil. Os resíduos foram secados em estufa de ar forçado. O processamento foi feito por moagem e o tamanho do grão foi padronizado para 60 mesh. Para o resíduo de açaí, a metodologia de caracterização do material vegetal seguiu a descrita pela Embrapa (2009). O teor de nitrogênio foi medido pelo método de Kjeldahl. O conteúdo de potássio foi obtido por Fotometria de chamas. O fósforo, o cálcio, o magnésio, o cobre, o ferro, o manganês e o zinco foram analisados pela espectrometria de absorção atômica. As análises foram realizadas em triplicata. O teor de fibra total foi feito seguindo a metodologia de Scharrer e Kurschner, como descrita por Beythien e Diemair (1963).

A cepa de *Pycnoporus sanguineus* ATCC 4518 foi obtida da Fundação André Tosello em Campinas/SP, no Brasil. O fungo foi mantido em meio Ágar Batata Dextrose (ADB) no escuro, armazenado a 4 °C e repicado mensalmente para a manutenção

das culturas. Os resíduos agroindustriais foram adicionados em uma quantidade de 1% (p/v) a frascos de 250 mL contendo 60 mL de caldo de batata dextrose (CBD) 0,5%. O meio de cultura contendo os resíduos foi autoclavado a 1 atm, 120 °C, durante 20 minutos. Em seguida, foram inoculados 5 discos com 6 mm do fungo em cultura sólida no meio líquido contendo resíduos agroindustriais. Os frascos foram incubados a 28 °C, sob agitação de 150 rpm, durante 7 dias. O ensaio foi realizado em triplicata.

Foram feitos controles negativos (microrganismo cultivado na ausência de resíduos agroindustriais) e controles positivos (microrganismo cultivado na presença de indutor sintético). Para os controles positivos, o fungo foi cultivado em meio de cultura de extrato de malte com adição de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,0005% e 0,4 mmolL^{-1} de 2,5-xilidina.

A atividade de lacase foi determinada a cada 24 horas durante os 7 dias de cultivo, com o uso de seringaldazina como substrato. A metodologia utilizada foi descrita por Szklarz *et al.* (1989 – modificado). Os componentes da mistura foram: 10 μL de extrato bruto enzimático, 890 μL de tampão de acetato de sódio 50 mmol.L^{-1} (pH 5) e 100 μL de seringaldazina 1,0 mmol.L^{-1} preparada em etanol. A reação foi iniciada pela adição de seringaldazina (coeficiente de extinção molar $\epsilon 525 \text{ nm} = 65000 \text{ mol.L}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$). Definiu-se uma unidade de atividade enzimática como a quantidade de enzima capaz de oxidar 1 μmol de substrato por minuto. O resultado foi expresso em U.mL^{-1} .

A concentração de proteínas nas amostras foi determinada a cada 24 horas, de acordo com o método colorimétrico descrito por Bradford (1976), que utilizou albumina de soro bovino (BSA, Sigma) como padrão. Amostras de 100 μL de extrato bruto foram misturadas em 1 mL de solução de Bradford. Após 15 minutos de incubação à temperatura ambiente, a absorbância foi lida num espectrofotômetro a 595 nm.

O teor de açúcares redutores no meio de cultivo foi obtido no momento da inoculação e a cada 24 horas com o reagente DNS (ácido dinitrosalicílico), por meio do método colorimétrico descrito por Miller (1959). A mistura reacional foi de 50 μL de extrato bruto enzimático e 1 mL de reagente DNS. A mistura foi fervida durante 5 minutos e o volume foi completado para 4 mL com água destilada. A absorbância foi lida a 545 nm. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Os gráficos foram construídos no *software* Origin versão 6.0. Para análise de variância entre os grupos, foram aplicados o modelo de ANOVA e o teste de Tukey no *software* Bioestat versão 5.0, com 95% de nível de significância.

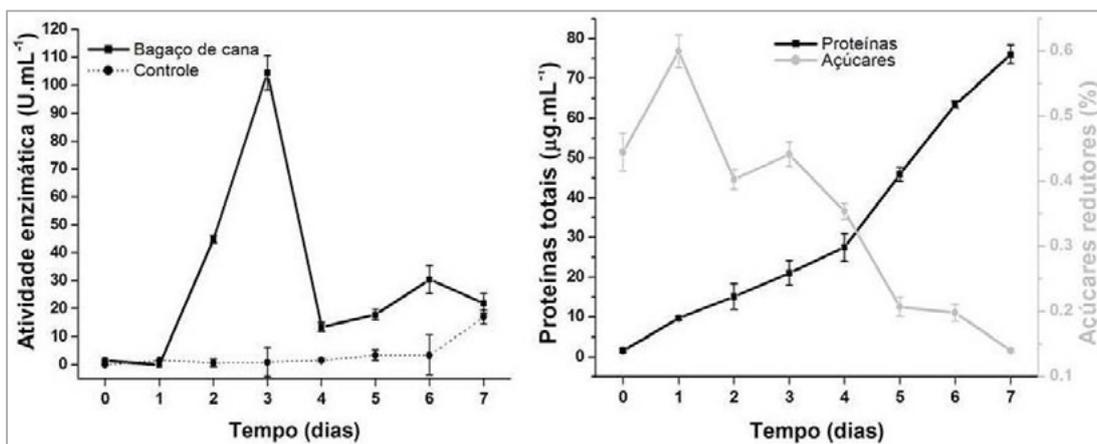
RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de resíduos agrícolas como indutores de lacase mostra-se como uma abordagem promissora, uma vez que é uma estratégia alternativa aos indutores sintéticos, que são utilizados em razão da necessidade de obter altas quantidades de enzimas

para suprir suas diversas aplicações. Além disso, a reutilização de tais resíduos torna-se importante do ponto de vista ambiental.

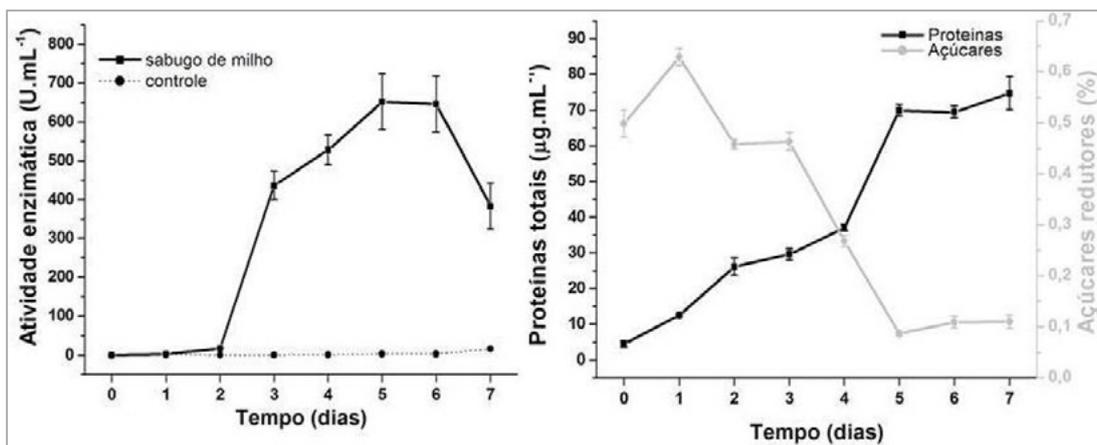
As figuras de 1 a 3 apresentam o resultado da atividade de lacase na presença e na ausência (controle negativo) dos resíduos vegetais testados, o teor de proteína total e o teor de açúcares redutores no sobrenadante durante o cultivo. Notou-se que houve um aumento da atividade enzimática em relação ao controle em todos os casos. Para o bagaço de cana-de-açúcar, houve um pico de atividade de lacase no 3º dia de cultura, atingindo 100 U.mL⁻¹. Com o sabugo de milho, observou-se alta quantidade de enzima no 5º dia de cultivo e com o resíduo de açaí no 6º dia (652 e 850 U.mL⁻¹, respectivamente). Constatou-se ainda que a atividade enzimática do extrato induzido com resíduo de açaí foi superior à do controle positivo (500 U.mL⁻¹).

FIGURA 1 - ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (CONTROLE), PROTEÍNA E TEOR DE AÇÚCARES REDUZIDOS NA CULTURA DE *PYCNOPORUS SANGUINEUS* AO LONGO DE 7 DIAS DE CULTIVO EM MEIO LÍQUIDO COM CALDO DE BATATA DEXTROSE 0,5% (P/V) A 150 RPM A 28 °C



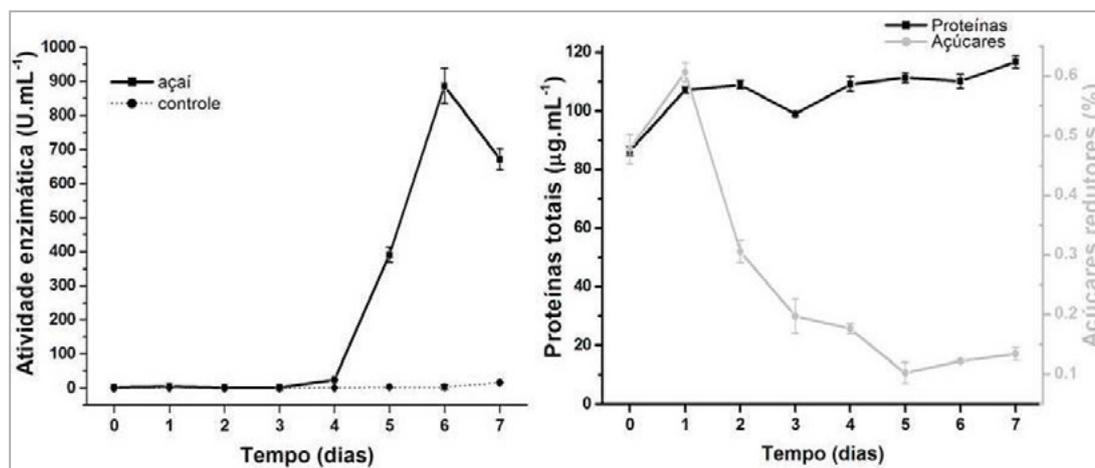
Fonte: Elaborada pelos autores.

FIGURA 2 - ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE SABUGO DE MILHO (CONTROLE), PROTEÍNA E TEOR DE AÇÚCARES REDUZIDOS NA CULTURA DE *PYCNOPORUS SANGUINEUS* AO LONGO DE 7 DIAS DE CULTIVO EM MEIO LÍQUIDO COM CALDO DE BATATA DEXTROSE 0,5% (P/V) A 150 RPM A 28 °C



Fonte: Elaborada pelos autores.

FIGURA 3 - ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE RESÍDUO DE AÇAÍ (CONTROLE), PROTEÍNA E TEOR DE AÇÚCARES REDUZIDOS NA CULTURA DE *PYCNOPORUS SANGUINEUS* AO LONGO DE 7 DIAS DE CULTIVO EM MEIO LÍQUIDO COM CALDO DE BATATA DEXTROSE 0,5% (P/V) A 150 RPM A 28 °C



Fonte: Elaborada pelos autores.

O extrato bruto enzimático obtido por cultivo com bagaço de cana-de-açúcar após 7 dias de cultivo foi semelhante ao controle negativo, embora no 3º dia de cultivo tenha se observado um pico na atividade da lacase. Esse comportamento pode ter acontecido devido a proteases produzidas pelo fungo ao longo do tempo de cultivo (POUSSEREAU *et al.*, 2002). As proteases podem atuar contra outras enzimas presentes no sobrenadante, tornando-as inativas. Assim, o melhor dia para obter o extrato bruto enzimático nesse caso é o 3º dia, retirando o sobrenadante antes da inativação da lacase pelas proteases.

Wang *et al.* (2014) constataram um aumento da produção de lacase pelo basidiomiceto *Trametes versicolor* quando foi adicionado resíduo de milho à cultura submersa desse fungo. Na concentração ótima de 20 g L⁻¹ (2% p/v), uma atividade de lacase de 633,3 U.L⁻¹ foi obtida após um período de cultivo de apenas 5 dias. Isso representou um aumento de 1,96 vezes em relação ao controle sem resíduos de milho. No presente trabalho, obteve-se atividade de lacase de 652 U.mL⁻¹ no mesmo tempo de cultivo (5º dia) quando 1% (p/v) de sabugo de milho foi acrescentado ao meio de cultura.

Com relação ao teor de proteína no sobrenadante das culturas, observou-se que houve aumento progressivo quando o fungo foi cultivado na presença de bagaço de cana-de-açúcar e de sabugo de milho. No caso das culturas que continham resíduos de açaí, o teor total de proteína no momento da inoculação do fungo (tempo 0) já era alto (83 µg.mL⁻¹). Isso sugere que esse resíduo vegetal é rico em proteínas.

Vários autores que usaram resíduos agroindustriais como indutores de lacase realizaram o cultivo de microrganismos em um meio de cultura enriquecido (MANN *et al.*, 2015; SONGULASHVILI *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2014). No presente trabalho, o meio de cultura continha apenas caldo de batata dextrose 0,5% e 1% (p/v) de resíduos agroindustriais. Os altos níveis de atividade de lacase permitem a constatação de que os resíduos estudados têm potencial para serem utilizados como indutores dessa enzima, uma vez que o meio de cultura não foi suplementado e não foram adicionados indutores sintéticos.

Dado o fato de o resíduo de açaí ter levado à produção de lacase superior à do controle positivo, realizou-se um estudo detalhado desse resíduo agroindustrial com o objetivo de conhecer seus componentes, como fibras totais, nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). O Quadro 1 apresenta os resultados para cada um desses elementos e para a proporção de fibras.

QUADRO 1
MÉDIA DE ELEMENTOS-TRAÇO (\pm DESVIO) E FIBRAS TOTAIS NO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DE AÇAÍ

N (dag.kg-1)	0,69 \pm 0,0173
P (dag.kg-1)	0,191 \pm 0,0168
K (dag.kg-1)	0,480 \pm 0,0693
Ca (dag.kg-1)	0,133 \pm 0,0058
Mg (dag.kg-1)	0,040 \pm 0,000
Cu (dag.kg-1)	7,33 \pm 0,5774
Fe (dag.kg-1)	66,66 \pm 8,5049
Mn (dag.kg-1)	172,6 \pm 12,055
Zn (dag.kg-1)	16,0 \pm 8,2146
Fibras (% w/w)	25,18

Fonte: Elaborado pelas autoras.

O conhecimento do teor de cobre e de fibras totais é importante, pois esses fatores influenciam diretamente na produção de lacase. A porcentagem de fibras no resíduo de açaí (casca e semente) foi significativa (25,18% p/p). Além do melhor crescimento micelial, o aumento da atividade das enzimas extracelulares foi observado como um resultado marcante. Assim, ao constituírem um material lignocelulósico, os resíduos agrícolas têm potencial para contribuir com o crescimento de fungos decompositores de madeira, bem como com o aumento da produção de enzimas de interesse biotecnológico.

Na análise do teor de metais na amostra do resíduo de açaí, observamos que há uma quantidade considerável de manganês, de zinco e de ferro, por exemplo, metais que costumam ser adicionados ao cultivo de fungos como suplementação. Assim, a alta produção de lacase por *P. sanguineus* na presença de resíduo de açaí em meio de cultura pobre em nutrientes pode decorrido do fato de esse material vegetal conter componentes que enriquecem o meio. Além disso, o conteúdo de fibra pode ter influenciado o aumento da resposta fúngica ao excretar grande quantidade de lacase na tentativa de degradar o material lignocelulósico, pois esta é sua função na natureza.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que a produção de extrato bruto de lacase sem adição de indutores sintéticos é viável, quando resíduos lignocelulósicos são adicionados a uma cultura, mesmo que ela seja pobre em nutrientes. Entre as amostras testadas, verificou-se que o resíduo de açaí foi o mais eficiente, pois gerou uma atividade de lacase superior à do controle positivo.

Os extratos enzimáticos obtidos demonstram ter potencial para serem utilizados em aplicações biotecnológicas, como na biorremediação de micropoluentes ambientais. Assim, o reaproveitamento de materiais vegetais descartados pela agroindústria, aliado à sua capacidade de substituir indutores sintéticos na produção de lacase, torna o método proposto simples, barato e ecoamigável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Capes, pela Finep (CT-Hidro n. 1/2013) e pelo CNPq, agências de fomento do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ARORA, Daljit S.; SHARMA, Rakesh K. Lignolytic fungal laccases and their biotechnological applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Berlin, v. 160, p. 1760–1788, 2010.
- BEYTHIEN, Adolf; DIEMAIR, Wilibald. *Laboratoriumsbuch für der lebensmittelchemiker*. Dresden: Theodor Steinkopff, 1963.
- BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, n. 1–2, p. 248–254, 1976.
- CHEN, Shicheng; GE, Wei; BUSWELL, John A. Biochemical and molecular characterization of a laccase from the edible straw mushroom *Volvarella volvacea*. *European Journal of Biochemistry*, Hoboken, v. 271, n. 2, p. 318–328, 2004.
- ELISASHVILI, Vladimir; PENNINGCKX, Michel; KACHLISHVILI, Eva; ASATIANI, Mikheil; KVESITADZE, Giorgi. Use of *Pleurotus dryinus* for lignocellulolytic enzymes production in submerged fermentation of mandarin peels and tree leaves. *Enzyme and Microbial Technology*, Amsterdam, v. 38, n. 7, p. 998–1004, 2008.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- FONSECA-MALDONADO, R.; RIBEIRO, Lucas F.; FURTADO, Gilvan P.; ARRUDA, Letícia M.; MELEIRO, Luana P.; ALPONTI, Juliana S.; BOTELHO-MACHADO, Carla; VIEIRA, Davi S.; BONNEIL, Eric; FURRIEL, Rosa dos P. M.; THIBAUT, Pierre; WARD, Richard J. Synergistic action of co-expressed xylanase/laccase mixtures against milled sugar cane bagasse. *Process Biochemistry*, Amsterdam, v. 49, n. 7, p. 1152–1161, 2014.
- GONZALEZ, Juan C.; MEDINA, Sandra C.; RODRIGUEZ, Alexander; OSMA, Johann F.; ALMÉCIGA-DÍAZ, Carlos J.; SÁNCHEZ, Oscar F. Production of *Trametes pubescens* laccase under submerged and semi-solid culture conditions on agro-industrial wastes. *PLoS One*, San Francisco, Califórnia, v. 8, n. 9, p. e73721, 2013.
- LLORET, Lucía; EIBBES, Gemma; LÚ CHAO, Thelmo A.; MOREIRA, Maria T.; FEIJO, Gumersindo; LEMA, Juan M. Laccase catalyzed degradation of anti-inflammatories and estrogens. *Biochemistry Engineering Journal*, v. 50, n. 3, p. 124–131, 2010.
- MANN, Jacinta; MARKHAM, Julie L.; PEIRIS, Paul; SPOONER-HART, Robert; HOLFORD, Paul; NAIR, Nimish G. Use of olive mill wastewater as a suitable substrate for the production of laccase by *Cerrena consors*. *International Biodeterioration and Biodegradation*, Amsterdam, v. 99, p. 138–145, 2015.

- MILLER, Gail L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 31, n. 3, p. 426–428, 1959.
- MURUGESAN, Kumarasamy; NAM, In-Hyun; KIM, Young-Mo; CHANG, Yoon-Seok. Decolorization of reactive dyes by a thermostable laccase produced by *Ganoderma lucidum* in solid state culture. *Enzyme and Microbial Technology*, Amsterdam, v. 40, n. 7, p. 1662–1672, 2007.
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). *Innovation for agriculture productivity and sustainability: review of Brazilian policies*. Paris: OECD, 2014. Disponível em: [www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/CA/APM/WP\(2014\)23/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=TAD/CA/APM/WP(2014)23/FINAL&docLanguage=En) Acesso em: 3 jan. 2017.
- PANDEY, Ashok; SOCCOL, Carlos R.; NIGAM, Poonam; SOCCOL, Vanete T. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 74, n. 1, p. 69–80, 2000.
- PARENTI, Alejandra; MUGUERZA, Elaia; REDINIROZ, Amaia; OMARINI, Alejandra; CONDE, Enma; ALFARO, Manuel; CASTANERA, Raúl; SANTOYO, Francisco; RAMÍREZ, Lucía; PISABARRO, Antonio G. Induction of laccase activity in the White rot fungus *Pleurotus ostreatus* using water polluted with wheat straw extracts. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 133, p. 142–149, 2013.
- PISCITELLI, Alessandra; GIARDINA, Paola; LETTERA, Vincenzo; PEZZELLA, Cinzia; SANNIA, Giovanni; FARACO, Vincenza. Induction and transcriptional regulation of laccases in fungi. *Current Genomics*, Sharjah, v. 12, n. 2, p. 104–112, 2011.
- POUSSEREAU, Nathalie; CRETON, Sandrine; BILLON-GRAND, Geneviève; RASCLE, Christine; FEVRE, Michel. Regulation of *acp1*, encoding a non-aspartyl acid protease expressed during pathogenesis of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbiology*, London, v. 147, n. 3, p. 717–726, 2002.
- TEOH, Yi P.; MASHITAH, Mashitah D. Cellulase production by *Pycnoporus sanguineus* on oil palm residues through pretreatment and optimization study. *Journal of Applied Science*, Faisalabad, Paquistão, v. 10, n. 12, p. 1036–1043, 2010.
- SCHROEDER, Marc; PÖLLINGER-ZIERLER, Barbara; AICHERNIG, Nina; SIEGMUND, Barbara; GUEBITZ, Georg M. Enzymatic Removal of Off-flavors from Apple Juice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 56, n. 7, 2485–2489, 2008.
- SZKLARZ, Grazyna; ANTIBUS, Robert K.; SINSABAUGH, Robert L.; LINKINS, Arthur E. Production of phenol oxidases and peroxidases by wood-rotting fungi. *Mycologia*, Lancaster, v. 81, n. 2, p. 234–240, 1989.
- SONGULASHVILI, George; SPINDLER, Daniel; JIMENEZ-TOBON, Gloria; JASPERS, Charles; KERNS, Gerhard; PENNINGCKX, Michel J. Production of a high level of laccase by submerged fermentation at 120-L scale of *Cerrena unicolor* C-139 grown on wheat bran. *Comptes Rendus Biologies*, Amsterdam, v. 338, n. 2, p. 121–125, 2015.
- WANG, Feng; HU, Jian-Hua; GUO, Chen; LIU, Chun-Zhao. Enhanced laccase production by *Trametes versicolor* using corn steep liquor as both nitrogen source and inducer. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 166, p. 602–605, 2014.
- YIN, Guangkun; XIN, Xia; SONG, Chao; CHEN, Xiaoling; ZHANG, Jinmei; WU, Shuhua; LI, Ruifang; LIU, Xu; LU, Xinxiong. Activity levels and expression of antioxidant enzymes in the ascorbate-glutathione cycle in artificially aged rice seed. *Plant Physiology and Biochemistry*, Amsterdam, v. 80, p.1–9, 2014.

Planos de Segurança de Água como instrumento de gestão de riscos em sistemas de abastecimento de água no Brasil



NOLAN RIBEIRO BEZERRA

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A potabilidade da água para consumo humano era, em geral, aferida por sua aparência física durante o século XIX. Com a ocorrência de diversos surtos de doenças de transmissão hídrica e com o avanço do conhecimento científico, tornou-se necessário o desenvolvimento de recursos técnicos e legais que, de forma objetiva, traduzissem as características a que a água deveria obedecer para ser considerada potável, com base em valores máximos permitidos (BEZERRA, 2011).

Atualmente, em decorrência do crescimento populacional nos grandes centros urbanos, da escassez de água ou da baixa qualidade no fornecimento desse recurso, além de outras diversas razões – por exemplo, limitações analíticas ou financeiras, contaminantes emergentes (químicos e biológicos), dificuldade ou mesmo impossibilidade de monitoramento em tempo real –, o controle laboratorial, embora indispensável, tem sido considerado insuficiente para a garantia da “segurança” da qualidade da água para consumo humano.

Para Hrudey (2004), mesmo em países industrializados com elevado padrão tecnológico em abastecimento de água, observa-se a notificação de doenças de transmissão hídrica, causadas por problemas não detectados e/ou não solucionados em tempo hábil. A título de exemplo, relata-se o surto de toxoplasmose no município de Santa Isabel do Ivaí/PR, em 2001, com 426 casos de infecção causados pela contaminação por oocistos do *Toxoplasma gondii*, isolado em um dos dois reservatórios desse município (MOURA, 2002).

Essas limitações tornam evidente que os mecanismos de monitoramento estabelecidos por meio do controle laboratorial não são suficientes (VIEIRA, 2011). Para superar essas limitações, a Organização Mundial da Saúde (OMS) definiu, no capítulo 4 do documento *Guidelines for drinking-water quality*, o que foi intitulado

de *Water Safety Plans* (Planos de Segurança da Água – PSA), apresentados na terceira edição, de 2004, e mantidos na quarta edição, de 2011 (DAVISON *et al.*, 2005).

Segundo Davison *et al.* (2005), os PSA são instrumentos de identificação dos perigos, caracterização dos riscos em sistema e solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano, desde o manancial até o consumidor, visando estabelecer medidas de controle para eliminar esses riscos ou reduzi-los para níveis aceitáveis. Nesse sentido, cabem aos países a adoção e a adequação dessas diretrizes, para implantação dos PSA, considerando os aspectos econômicos e socioambientais da realidade nacional.

Nesse contexto, faz-se necessário abordar a estrutura indicada pela OMS para garantir a segurança da água destinada ao consumo humano em sistemas de abastecimento nos âmbitos internacional e nacional, como também problematizar aspectos conceituais e metodológicos e propor uma adequação da metodologia ao contexto brasileiro.

OS PSA NOS CENÁRIOS INTERNACIONAL E NACIONAL

A implantação dos PSA tem seu fundamento na implementação do sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) – do inglês *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP) –, reconhecido na indústria de alimentos. Em 1997, o Icelandic Waterworks implementa o processo HACCP no seu sistema de abastecimento de água (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008). Outras experiências são registradas na aplicação desse processo (DAVISON; BARTRAM, 2004; DEWETTINCK *et al.*, 2001; HAVELAAR, 1994; HOWARD, 2003). No Brasil, Braga (2007) e Oliveira (2010), por exemplo, aplicaram o sistema APPCC em estudo de caso no sistema de abastecimento da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Cabe destacar as experiências pioneiras da Austrália e da Irlanda nessa implantação, o que aconteceu de forma mais consolidada após a conferência sobre a temática realizada em Berlim no ano de 2003, quando se iniciou a instalação dos Planos, tendo como fundamento metodológico os princípios do sistema HACCP.

Em 2004, a OMS lança o conceito de Plano de Segurança da Água (PSA), ressaltando a importância de sua implantação em todo o processo produtivo de água e apresentando recomendações aos prestadores de serviços. Ainda nesse ano, por iniciativa da International Water Association (IWA), foi lançada a “Carta de Bonn”, na qual se delineiam condições e atribuições institucionais e operacionais como requisitos básicos para gerir o abastecimento de água, desde a fonte até o consumo, sob os princípios da gestão de risco e de satisfação ao consumidor.

A partir de então, em vários países europeus (Reino Unido, Alemanha, França, Holanda, Suíça e Portugal), na Austrália e na Nova Zelândia, têm sido registradas experiências de aplicação de PSA, cujos resultados estimulam sua generalização. Em Portugal, um estudo pioneiro foi desenvolvido na empresa Águas do Cavado (VIEIRA; MORAIS, 2005) e hoje os PSA encontram-se regulamentados pelo Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) como atribuição obrigatória na prestação de serviços de abastecimento de água.

Em 2008, sob os auspícios da OMS, da IWA, das agências estadunidenses US Centers for Disease Control and Prevention (CDC) e US Environmental Protection Agency (EPA) e da Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS), realiza-se uma oficina em San Pedro Sula, Honduras, para conformação da Red de Planes de Seguridad del Agua para Latinoamérica y el Caribe (RED PSA-LAC).

Em 2006, o Brasil inicia a implantação do PSA por meio do projeto piloto “Plano de Segurança da Água”, financiado pelo Ministério da Saúde, pelo CDC e pela EPA, e desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), sob a coordenação do Departamento de Engenharia Civil, em parceria com o Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Viçosa/MG (SAAE). Em 2009, a Companhia de Abastecimento de Água do Estado de São Paulo (Sabesp) começa os estudos para implantação do PSA, o que, na sequência, também foi feito pelas companhias dos estados do Paraná (Sanepar), de Minas Gerais (Copasa), de Goiás (Saneago), entre outras.

No Brasil, os fundamentos legais para o desenvolvimento do PSA estão regulamentados na Portaria de Consolidação do Ministério da Saúde n. 5, de 3 de outubro de 2017, que revoga a Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011. O artigo 129 da nova portaria explicita a necessidade de o responsável pelo sistema ou pela solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano manter avaliação sistemática do sistema, com atenção à qualidade da água distribuída e aos riscos à saúde, cabendo ao setor de saúde, ou seja, a vigilância em saúde, a avaliação dos Planos, conforme os princípios recomendados pela OMS ou definidos em diretrizes vigentes no país (BRASIL, 2017).

Em 2012, o Ministério da Saúde lança os pressupostos e as recomendações para implantação dos PSA (BRASIL, 2012) e, em 2014, realiza, na cidade de Brasília, o primeiro Congresso Internacional sobre Planos de Segurança da Água. Nesse congresso, é apresentado o Centro de Referência em Segurança da Água, constituído em uma parceria entre a Universidade do Minho e a Universidade de São Paulo.

As diretrizes do Ministério da Saúde podem ser ajustadas de acordo com a instituição e com os diversos tipos de sistemas de abastecimento de água para consumo humano. Cabem, assim, aos municípios a adoção e a adequação dessas diretrizes para a implementação dos PSA, tendo em vista os aspectos econômicos e socioambientais locais.

MARCOS CONCEITUAIS E MÉTODOS PARA IMPLANTAÇÃO DOS PSA

Segundo Bezerra (2011), a segurança da água fornecida pelas diversas formas de abastecimento, com a quantidade e a qualidade adequadas para o consumo humano, constitui elemento essencial das políticas de saúde pública e saneamento básico. De acordo com a WHO (2004, 2011), água segura é aquela que não representa qualquer risco significativo para a saúde se consumida durante toda a vida, mesmo levando em conta diferentes suscetibilidades que podem ocorrer entre os estágios de vida.

A Portaria do Ministério da Saúde n. 5/2017 inovou ao exigir que a água, além de atender aos padrões de potabilidade, não apresente riscos à saúde e ao anteceder a

recomendação da OMS acerca da necessidade de avaliação desses riscos desde a bacia hidrográfica até a distribuição.

Para compreender os conceitos inerentes ao PSA, importa entender as terminologias relacionadas à sua implantação. Uma delas é a avaliação do risco, a qual consiste em uma metodologia de uma abordagem maior, denominada análise de risco, que compreende três procedimentos desenvolvidos normalmente de forma sequencial e integrada: a avaliação do risco, o gerenciamento do risco e a comunicação do risco (ABNT, 2009b; BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009). Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009, p. 328) afirmam que “análise de risco é um processo sistemático e integrado que permite a compreensão da origem e da natureza do risco, a análise da probabilidade de ocorrência do risco e de suas consequências”. Para esses autores, a avaliação do risco é entendida como “a caracterização e a estimativa, quantitativa ou qualitativa, de efeitos potencialmente adversos à saúde de indivíduos ou populações, em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo”.

Ainda considerando a abordagem conceitual da análise de risco, os conceitos de risco, perigo e evento perigoso devem ser compreendidos e diferenciados em consonância com a norma ISO 31000:2009, como apresentado por Oliveira (2010, p. 6):

Risco: é a probabilidade da ocorrência e a magnitude de efeito adverso à saúde de um indivíduo ou uma população em determinado prazo e cenário de exposição a um dado perigo.

Perigo (ou agente perigoso): agente biológico, químico, físico ou radiológico com capacidade de provocar dano à saúde.

Evento perigoso: situação que possa levar à presença de perigos.

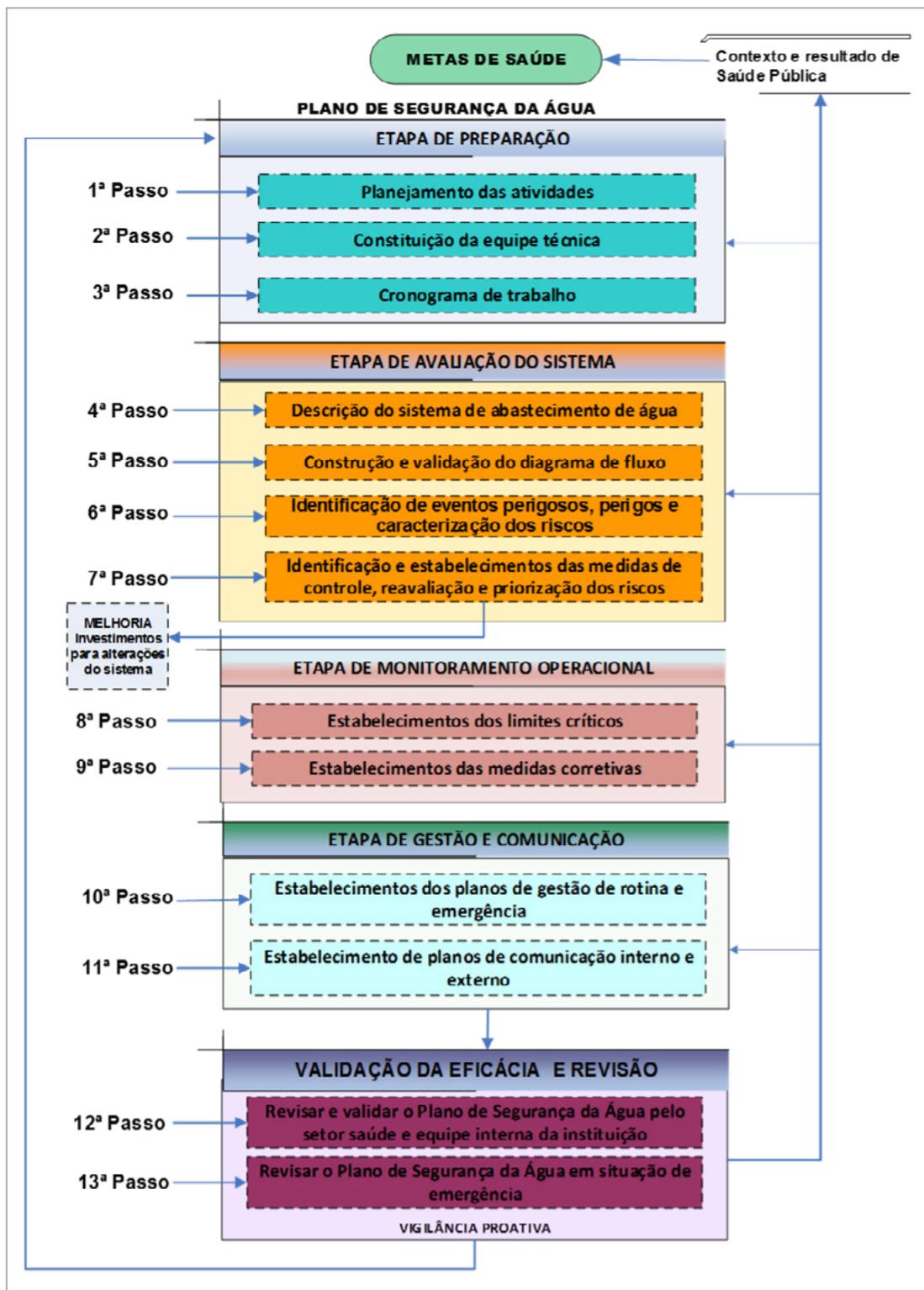
As publicações da OMS fornecem, como não poderia deixar de ser, apenas diretrizes gerais para a implementação dos PSA, por meio de uma estrutura mais ampla, denominada *framework for safe drinking-water*. Essa estrutura foi estabelecida por meio de ciclo iterativo com os seguintes componentes: (1) definição de metas ou objetivos de saúde a serem alcançados; (2) PSA; (3) vigilância proativa (Figura 1). Esse ciclo deve ser permeado por instrumentos de análise de risco que englobam a avaliação, o gerenciamento e a comunicação do risco (WHO, 2004, 2011).

Dentre os objetivos do PSA destacam-se: (1) assegurar boas práticas no abastecimento de água; (2) diminuir a contaminação do manancial; (3) reduzir ou remover os contaminantes por meio dos processos de tratamento; (4) proteger a água durante sua reservação, distribuição e uso. Bezerra (2011) afirma que esses objetivos são aplicáveis a sistemas de abastecimento de água e a soluções alternativas coletivas, conforme definições estabelecidas na norma brasileira de potabilidade de água para consumo humano.

A definição das metas de saúde, que é um dos componentes fundamentais para garantir a segurança da água potável, deve levar em consideração a associação entre os agravos à saúde e as situações de vulnerabilidade do sistema ou da solução alternativa de abastecimento, além de ponderar aspectos econômicos, ambientais, sociais, culturais, financeiros, técnicos e institucionais (WHO, 2004). Essas metas devem fazer

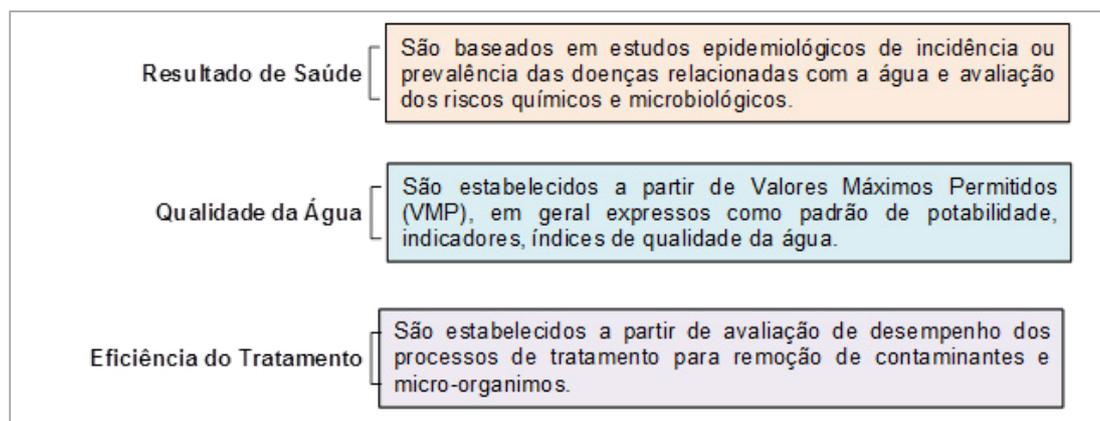
parte das políticas de saúde pública, com o propósito de estabelecer bases para garantir a segurança da qualidade da água para consumo humano em situações de rotinas e emergências. Elas são definidas pela vigilância (setor de saúde) em consulta aos prestadores de serviços de abastecimento de água, aos órgãos ambientais, à academia, entre outros, com base nos critérios expostos na Figura 2.

FIGURA 1 - ESTRUTURA PARA A SEGURANÇA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO



Fonte: Adaptado de WHO (2004).

FIGURA 2 – ASPECTOS PARA DEFINIÇÃO DAS METAS DE SAÚDE



Fonte: Adaptado de WHO (2004).

O outro componente dessa estrutura é o PSA, que, estando sob a responsabilidade dos prestadores de serviços de abastecimento de água, organiza-se como um sistema operacional de gestão de qualidade e gestão de risco, constituído de três componentes centrais: (1) avaliação do sistema; (2) monitoramento do sistema; (3) planos de gestão e comunicação (WHO, 2004, 2011). Para Davison *et al.* (2005), a implementação desse plano deve ser avaliada por meio de: (1) conhecimento detalhado do sistema e de sua capacidade para abastecer com água em conformidade com as metas de saúde; (2) identificação de fontes potenciais de contaminação e dos meios de controlá-las; (3) validação das medidas de controle dos perigos; (4) desenvolvimento de um sistema de monitoramento das medidas de controle do sistema de abastecimento; (5) estabelecimento de ações corretivas rápidas para garantir a segurança da água distribuída; (6) verificação da qualidade da água para assegurar a execução correta do PSA e a avaliação de seu desempenho em atendimento às metas de saúde (Figura 1).

O último componente é a vigilância, cujo objetivo é verificar se a água consumida pela população atende ao padrão de potabilidade, além de validar e acompanhar os PSA, conforme as metas de saúde.

Em suma, o que se pretende é a implementação de um sistema estruturado que, estabelecido sob a abordagem de prevenção de risco, promova, de uma parte, a eliminação, a redução ou a remoção dos perigos na fonte e no processo de tratamento e, de outra, a prevenção da contaminação no sistema de distribuição.

PRINCIPAIS MÉTODOS RECOMENDADOS PARA IMPLANTAÇÃO DO PSA

Do ponto de vista conceitual e metodológico, os principais elementos do PSA estão baseados nos princípios e nos conceitos de múltiplas barreiras e boas práticas (WHO, 2011). Entende-se por múltiplas barreiras uma etapa em que se estabelecem

procedimentos para minimizar a probabilidade de entrada de contaminantes no sistema de abastecimento ou, então, reduzir ou eliminar os contaminantes presentes na água (ABERNETHY *et al.*, 2016). Estudos ressaltam a importância da visão abrangente do sistema de abastecimento de água, desde o manancial até o consumo, sob a ótica dessas múltiplas barreiras, objetivando que as consequências da eventual falha de uma barreira possam ser absorvidas pelas barreiras subsequentes (BAUM; BARTRAM; HRUDEY, 2016; BEZERRA, 2011; OLIVEIRA, 2010).

A implantação do PSA requer a identificação de perigos/eventos perigosos e a caracterização dos riscos à saúde por meio da aplicação dos métodos de caracterização dos riscos, tais como a matriz frequência \times consequências, a qual pode ser construída em base quantitativa, semiquantitativa ou qualitativa, e a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), do inglês *Hazard Analysis and Critical Control Points* (HACCP), além das análises estatísticas, das análises multicritérios, da gestão de qualidade e das redes bayesianas (ABNT, 2009a, 2009b; BARTRAM, 2009; BEZERRA, 2011; DAVISON *et al.*, 2005; GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008; HAAS; ROSE; GERBA, 1999; HAVELAAR, 1994; OLIVEIRA, 2010).

Nesta análise, serão explicitadas apenas as metodologias mais utilizadas para a implantação do PSA nos cenários internacional e nacional. O Ministério da Saúde, em suas diretrizes para implantação do PSA no Brasil, recomenda a adoção de métodos de acordo com a estrutura organizacional, o porte e o tipo de sistema de abastecimento de água (BRASIL, 2012).

SISTEMA DE ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE (APPCC)

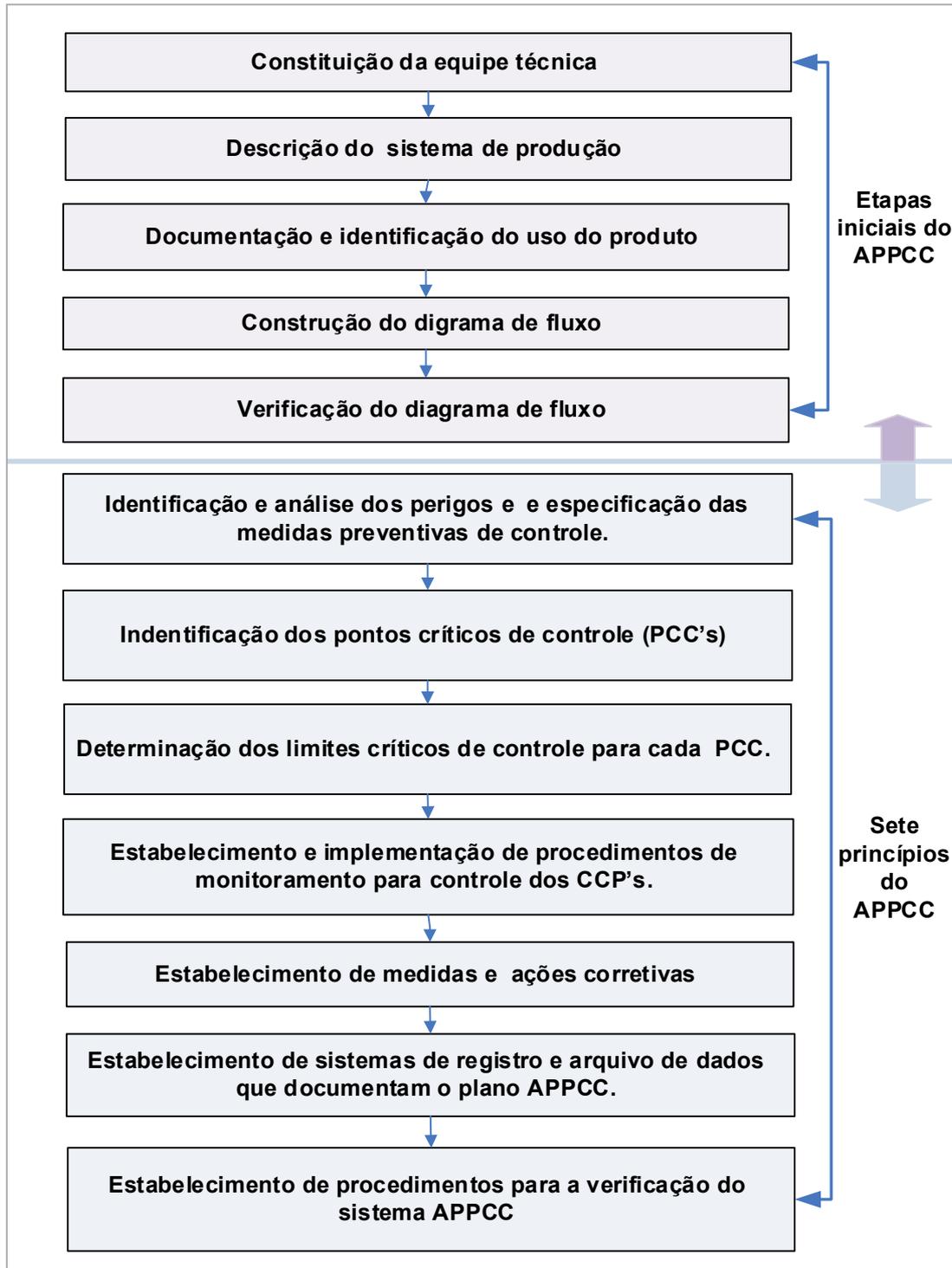
O sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) é definido como um procedimento sistemático para identificar perigos e estimar os pontos críticos de controle que podem afetar a inocuidade dos alimentos – o que inclui a água –, a fim de estabelecer as medidas para controlá-los (WHO, 1998). Esse sistema foi estruturado em doze componentes, sendo cinco etapas preliminares e sete princípios, conforme demonstrado na Figura 3 (ALMEIDA, 1998; CODEX ALIMENTARIUS, 1993; WHO, 1998).

Segundo OMS (1998), o sistema APPCC baseia-se em um sistema de engenharia conhecido como Análise de Modos de Falhas e Efeitos – do inglês *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) –, em que se observam, a cada etapa do processo, as possíveis falhas, suas causas prováveis e seus efeitos, para então estabelecer mecanismos de controle.

A identificação dos perigos é realizada por meio da ferramenta de avaliação de risco, denominada de árvore de decisão, conforme recomendação da OMS (1998).

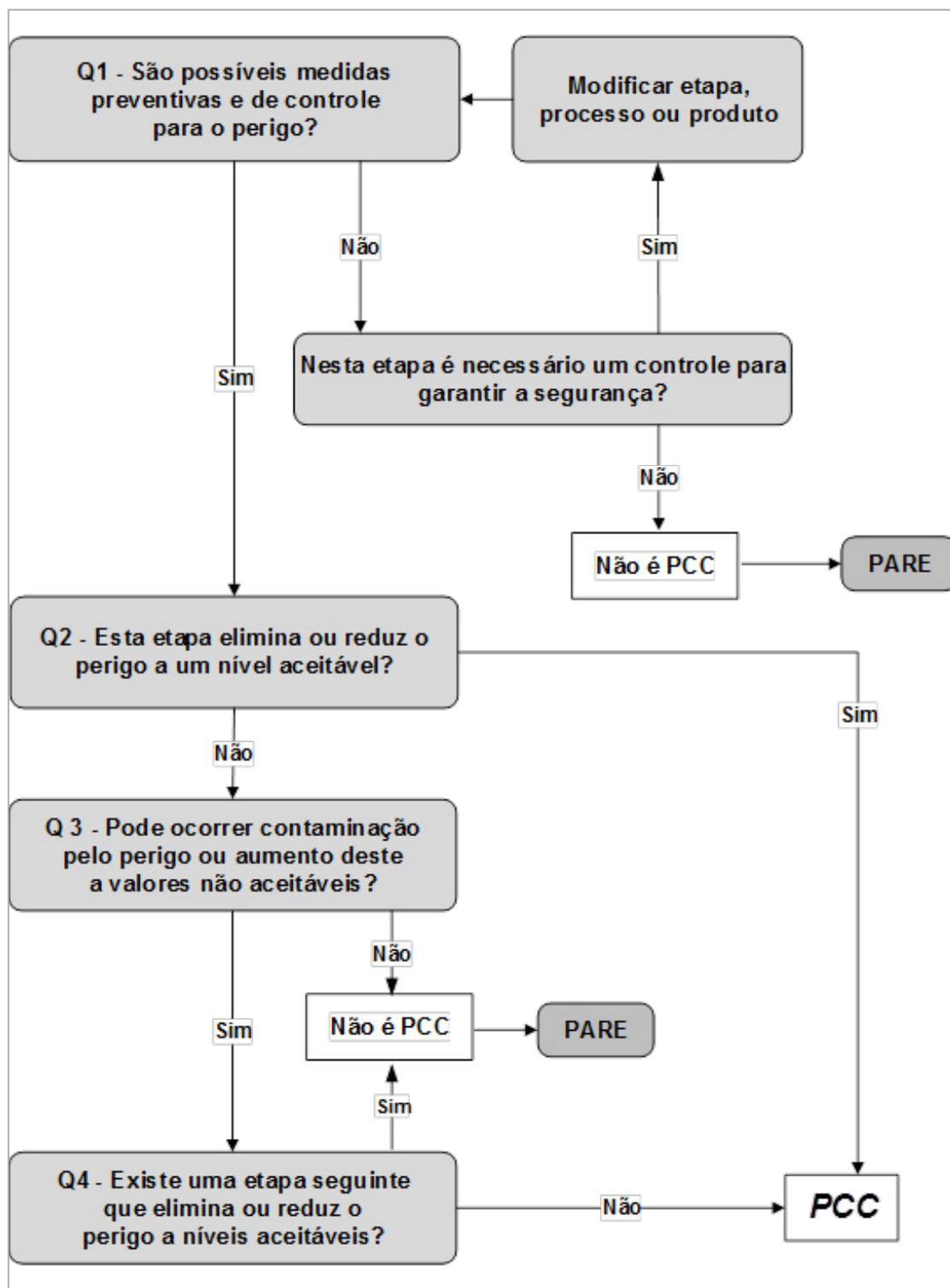
Por meio dessa árvore (Figura 4), determinam-se os pontos críticos de controle (PCC) nas etapas do processo em que os perigos podem ser controlados ou eliminados; definem-se os limites críticos necessários para controlar os perigos; monitoram-se os limites críticos para cada PCC a intervalos definidos e estabelecem-se ações corretivas se o processo estiver fora dos limites descritos em normas.

FIGURA 3 - ETAPAS E PRINCÍPIOS DO SISTEMA APPCC



Fonte: Adaptado de OMS (1998).

FIGURA 4 - ÁRVORE DE DECISÃO PARA DEFINIÇÃO DE PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE



Fonte: OMS (1998).

Com as devidas adaptações, o sistema APPCC vem ganhando atenção por sua aplicação à produção de água para consumo humano. Sua concepção serviu de base para a proposição das etapas preconizadas no PSA (GUNNARSDÓTTIR; GISSURARSON, 2008; HAVELAAR, 1994; VIDAL; MARROQUÍN; LOZADA, 2012).

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO DO RISCO

A matriz de priorização do risco é originada da norma *Standards Australia e Standards New Zealand (AS/NZS)*, de 2004, a qual foi atualizada pela ISO 31000:2009. No Brasil, a norma geral de gestão de riscos, que fornece uma estrutura genérica para estabelecer os contextos e para identificação, análise, avaliação, tratamento, monitoramento e comunicação de riscos nas organizações, foi regulamentada pelas normas ABNT (2009a) e ABNT (2012), que tratam das técnicas para o processo de avaliação de riscos e apresentam orientações sobre a seleção e a aplicação de técnicas sistemáticas para o processo de avaliação do risco.

O método consiste na determinação da probabilidade de um perigo/evento perigoso ocorrer e a magnitude de suas consequências à saúde. Uma ferramenta muito utilizada é a matriz frequência \times severidade, a qual pode ser construída em base qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa. A análise qualitativa requer utilização de termos que expressem bem a probabilidade de ocorrência e a severidade das consequências de um determinado risco. Já a análise semiquantitativa – em que são atribuídos valores numéricos aos descritores de probabilidade e consequência de forma que de seu cruzamento resulte produto numérico – pode ser determinada por meio da matriz descrita na Figura 5. O cruzamento dos valores de probabilidade, frequência (certo, quase certo, frequente) e consequência resulta em um risco (elevado, alto, médio e baixo). As escalas podem ser lineares ou logarítmicas, ou podem ter alguma outra relação. As fórmulas utilizadas também devem variar.

FIGURA 5 - EXEMPLO DE MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO DE RISCO POR MEIO DA TÉCNICA SEMIQUANTITATIVA

Frequência	Severidade				
	Efeito nulo ou insignificante Classificação: 1	Efeito de cumprimento leve Classificação: 2	Efeito organoléptico moderado Classificação: 3	Efeito regulamentário grave Classificação: 4	Efeito catastrófico na saúde pública Classificação: 5
Quase Certo/uma vez ao dia Classificação: 5	5	10	15	20	25
Provável/uma vez por semana Classificação: 4	4	8	12	16	20
Moderada/uma vez ao mês Classificação: 3	3	6	9	12	15
Improvável/uma vez ao ano Classificação: 2	2	4	6	8	10
Excepcional/uma vez a cada 5 anos Classificação: 1	1	2	3	4	5

Pontuação do risco	< 6	6-9	10-15	>15
Classificação do risco	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Bartram (2009).

Na análise quantitativa, a probabilidade e as consequências são combinadas com o resultado em determinado nível de risco, por meio, quando possível, de análise e cálculos estatísticos, o que pode acontecer, por exemplo, com a aplicação de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), em conformidade com ABNT (2009a). Observa-se que a avaliação do nível de risco pode ser interpretada como risco muito alto, alto, médio e baixo, conforme matriz proposta nas diretrizes da OMS por Bartram (2009).

A construção da matriz é definida pelo usuário de acordo com o objetivo do estudo (ABNT, 2009b). O risco é calculado pelo produto da ocorrência em relação à sua severidade. Um mesmo produto numérico pode ser classificado em níveis distintos de risco, dependendo do que for assumido como de maior ou menor peso.

Portanto, nessa abordagem, assim como na matriz qualitativa, o usuário, ao definir esses descritores, pode determinar que uma severidade catastrófica (peso 5) em função da frequência excepcional (peso 1) gere um risco baixo com nível 5, como o exemplo da matriz sugerida pela OMS. Essa falha ao definir a matriz para aplicação em sistema de abastecimento de água pode gerar um problema grave, uma vez que um evento catastrófico, mesmo ocorrendo a cada 5 anos ou mais, pode ter um efeito letal para a população.

Em razão do elevado grau de subjetividade, é preciso definir e validar, a partir da consulta de opinião de especialistas e técnicos que trabalham com sistema de abastecimento de água, os descritores com seus respectivos pesos e significados aplicáveis aos objetivos previstos na matriz de priorização de riscos à saúde.

VALIDAÇÃO DOS MÉTODOS PARA IMPLANTAÇÃO DO PSA

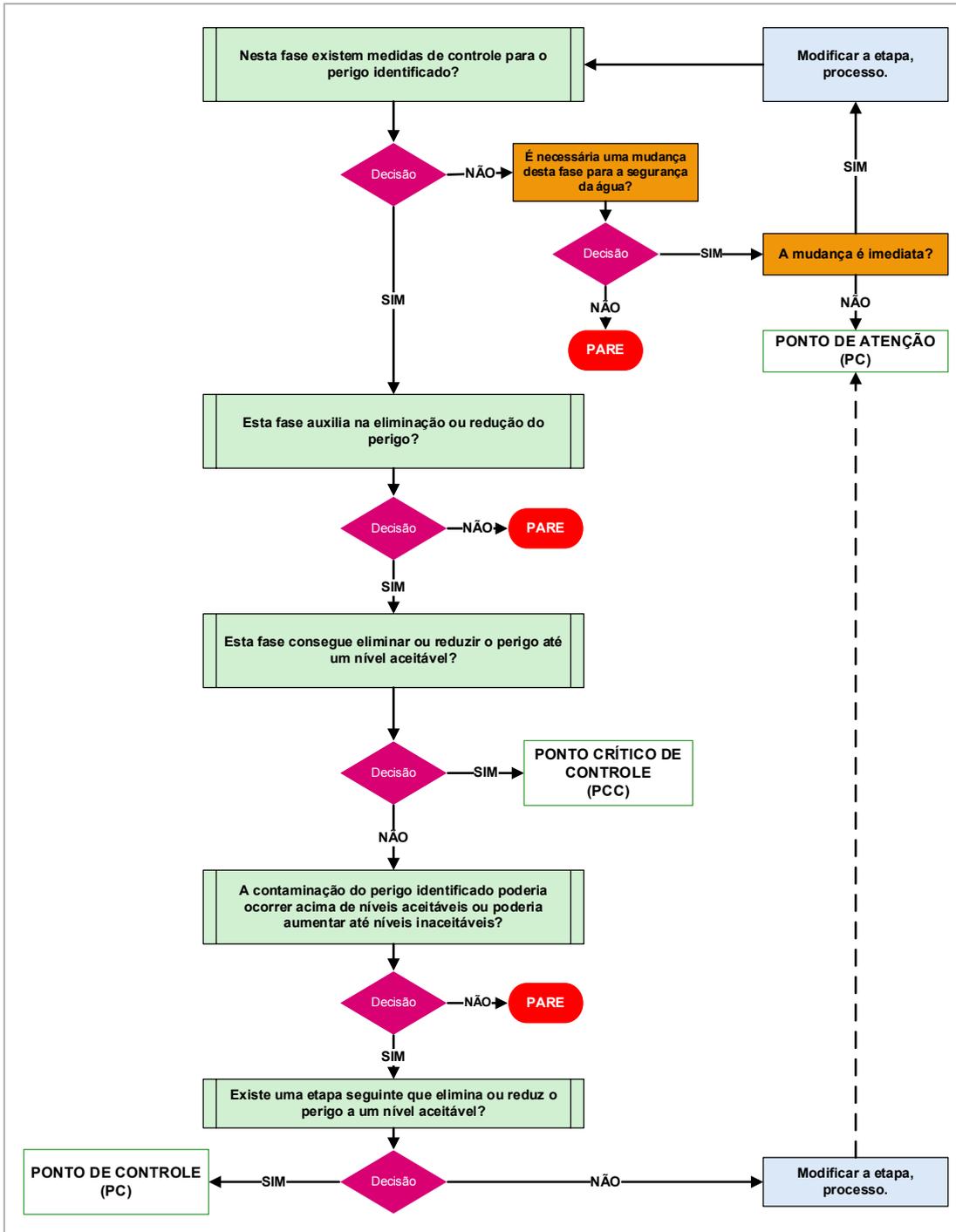
Para o desenvolvimento deste estudo, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica nos âmbitos internacional e nacional para seleção dos métodos mais utilizados na implantação do PSA em diferentes países (AMJAD *et al.*, 2016; BEZERRA, 2011; BRAGA, 2009; BRASIL, 2012; DAVISON *et al.*, 2005; MORENO, 2009; NIJHAWAN *et al.*, 2014; OLIVEIRA, 2010; SCHMOLL; CASTELL-EXNER; CHORUS, 2011; WHO, 2004, 2011).

A partir dessa revisão, propõe-se a utilização da Matriz de Priorização de Riscos (BARTRAM, 2009), apresentada na Figura 5, em conjunto com a aplicação da Árvore de Decisão adaptada à realidade brasileira por Oliveira (2010), como observada na Figura 6. A indicação do uso dos métodos conjuntamente levou em consideração a experiência portuguesa (VIEIRA; MORAIS, 2005) e a brasileira (BRASIL, 2012).

Segundo Oliveira (2010) e Bezerra (2011), a matriz tem a finalidade de priorizar os riscos de baixo a alto, com a orientação de que, quando for detectado risco moderado acima de 6 pontos, será obrigatório o uso da Árvore de Decisão para identificar se aquele perigo é um PCC, PC ou PA.

A validação da metodologia foi obtida em consulta aos especialistas por meio do método Delphi, um processo de comunicação em que um conjunto de especialistas pode emitir opiniões coletivas de forma qualificada sobre problemas complexos (PIOLA; VIANNA; VIVAS-CONSUELO, 2002).

FIGURA 6 – ÁRVORE DE DECISÃO: IDENTIFICAÇÃO DE PCC COM ADAPTAÇÕES PARA SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA



Fonte: Oliveira (2010).

Para Wright (1986), o método Delphi envolve a definição do objeto a ser validado, mediante a elaboração de um instrumento de consulta, no qual se intercalam informações resumidas e espaços para comentários sobre as respostas anteriores dos especialistas consultados, bem como a seleção dos especialistas, a análise das respostas da primeira rodada e segunda rodada e a validação final do consenso dos especialistas.

Em consideração à temática do estudo, foram selecionados especialistas que atuam nas áreas de recursos hídricos, microbiologia, tratamento de água, epidemiologia, substâncias químicas, vigilância da qualidade da água e avaliação de riscos à saúde.

A validação dos métodos selecionados ocorreu a partir da disponibilização de um questionário estruturado com informações resumidas dos dois métodos com espaços para comentários sobre a opinião dos especialistas. A primeira oficina presencial foi realizada no período de dois dias na cidade de Brasília/DF. Seu resultado foi consolidado e outro questionário foi elaborado com as respostas obtidas (consenso e não consenso) para a realização de uma segunda rodada. Na segunda oficina de fechamento, que foi realizada em Campinas/SP, foi possível fazer a validação dos métodos objeto deste estudo. Em resumo, segundo a opinião dos especialistas, não houve consenso quanto à utilização da árvore de decisão (Figura 6) em conjunto com a matriz de priorização de riscos (Figura 5).

A Figura 7 apresenta o resultado final da matriz de priorização de risco aprovada e validada, na qual são atribuídos valores numéricos aos descritores de frequência (5 a 1) e severidade (1 a 16), de forma que de seu cruzamento resulte produto numérico do nível de risco.

Para suprir a falha da matriz desenvolvida por Bartram (2009), define-se, na matriz proposta (Figura 5), que todos os perigos/eventos perigosos com severidade catastrófica, mesmo que sua frequência seja rara (acima de 5 anos), serão caracterizados como risco extremo e requererão a adoção imediata de um plano de emergência.

Dominguez-Chicas e Scrimshaw (2010) adaptaram a matriz de priorização de risco para aplicação em estação de tratamento de água (escala piloto) que faz captação de efluentes tratados de uma estação de tratamento de esgoto no Reino Unido. Os autores assinalaram as falhas identificadas na matriz proposta por Bartram (2009), no entanto não observaram a distinção entre os graus de severidade elevado e catastrófico dos 94 perigos (42%) correspondentes aos grupos de pesticidas, orgânicos e microbiológicos.

Em estudo de caso realizado na estação de tratamento de água de responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Carvalho, Jacob e Durães (2015) consideram o perigo crítico como impacto na saúde pública que pode gerar grandes danos ambientais, excedendo os limites legais de forma sistêmica. No entanto, os autores não ponderam a severidade dos perigos como risco elevado à saúde com a interrupção do fornecimento de água.

FIGURA 7 - MATRIZ SEMIQUANTITATIVA DE PRIORIZAÇÃO DE RISCO

Frequência		Severidade				
		1	2	4	8	16
		Muito Baixa	Baixa	Moderada	Elevada	Crítica
5	Diária a semanalmente	Baixo (5)	Moderado (10)	Alto (20)	Alto (40)	Extremo Plano de Emergência
4	Quinzenal a mensal	Baixo (4)	Moderado (8)	Alto (16)	Alto (32)	Extremo Plano de Emergência
3	Semestral a anual	Baixo (3)	Moderado (6)	Moderado (12)	Alto (24)	Extremo Plano de Emergência
2	Acima de um ano ate 5 anos	Baixo (2)	Baixo (4)	Moderado (8)	Alto (16)	Extremo Plano de Emergência
1	Acima de 5 anos	Baixo (1)	Baixo (2)	Baixo (4)	Moderado (8)	Extremo Plano de Emergência

Legenda:

Nível	Descritor	Significado da Severidade
1	Muito Baixa	Sem impacto detectável.
2	Baixa	Impacto sobre a qualidade estética ou organoléptica da água, sem causar rejeição da água, podendo ser mitigado em etapa seguinte do sistema de abastecimento de água.
3	Moderada	Impactos com risco moderado à saúde, abaixo do padrão de potabilidade, podendo ser mitigado em etapa(s) seguinte(s) do sistema de abastecimento de água.
4	Elevada	Impactos com risco elevado à saúde, acima do padrão de potabilidade, que não podem ser mitigado em etapa(s) seguinte(s) do sistema de abastecimento.
5	Crítica	Impactos com risco extremo à saúde, acima do padrão de potabilidade, com interrupção do fornecimento de água e necessidade de execução de plano de contingência.

Análise do Risco:

Risco Baixo ≤ 5: Risco baixo

Risco Moderado 6 a 12: Risco tolerável

Risco Alto 16 a 40: Risco não tolerável

Risco Extremo: Risco não tolerável, necessidade de adoção imediata de plano de emergência.

Fonte: Elaborada pela autora.

Cabe destacar que a experiência de implantação de PSA no Brasil segue as recomendações propostas nas diretrizes da OMS e do Ministério da Saúde, o que demanda uma atenção especial ao aplicar a matriz proposta nessas referências, uma vez que alguns estudos apresentam fragilidade e erros na determinação dos riscos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método aqui validado revela-se como poderosa ferramenta para a avaliação da efetividade da identificação dos perigos e para a caracterização dos riscos em sistemas de abastecimento de água, as quais, desde a bacia hidrográfica até a distribuição, constituem etapas fundamentais, pois delas depende a priorização dos perigos a serem controlados e das medidas de controle a serem especificadas.

A caracterização dos riscos é usualmente realizada por meio da matriz de priorização de risco e sua aplicação envolve incertezas. Uma das formas de lidar com tais incertezas é realizar a validação dos descritores para refinar estimativas de probabilidades

associadas às demais variáveis de interesse. Dessa forma, acredita-se que os objetivos delineados para este trabalho tenham sido cumpridos, já que a matriz de priorização de risco foi validada pelos especialistas como método mais indicado para a implementação dos PSA em sistemas de abastecimento de água.

Essa ferramenta permite a identificação e a priorização de perigos, a caracterização dos riscos e o estabelecimento de medidas de controle. No entanto, cabe recomendar outros métodos eficientes, como a aplicação da abordagem probabilística da rede Bayesiana, as técnicas de análise multicritério e de geoprocessamento, as quais vêm se mostrando ferramentas interdisciplinares para avaliar os níveis de impactos dos eventos perigosos na qualidade da água, bem como simular cenários de perigos futuros.

Por fim, salienta-se que a implantação do PSA requer um esforço conjunto do governo e das prestadoras de serviços, como também dos gestores das bacias hidrográficas. As autoridades oficiais de saúde pública, por sua parte, devem questionar as estratégias adotadas nas ações de vigilância, devendo assumir um papel mais proativo, o que implica a necessária revisão de seu suporte regulador para adaptá-lo à nova realidade.

Com relação aos aspectos científicos do desenvolvimento do PSA, são de fundamental importância as contribuições científicas que possam fornecer enfoques quantitativos na definição e na estimação dos riscos associados aos sistemas de abastecimento de água, o que se relaciona ao uso de ferramentas, como os modelos preventivos e os sistemas de vigilância epidemiológica das enfermidades transmitidas por água.

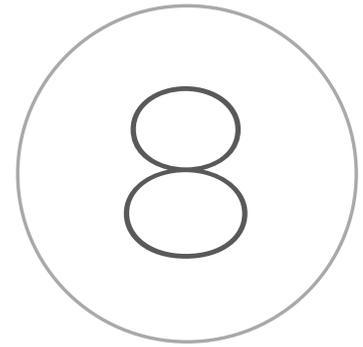
A implantação do PSA possibilita uma adaptação a diferentes situações, com o intuito de funcionar de forma preventiva, e facilita a realização de auditorias pelas vigilâncias, como também contribui para um melhor entendimento de todo o sistema de abastecimento como uma cadeia de barreiras múltiplas de proteção à contaminação da água, constituindo-se num elemento de grande valia para oferecer suporte à análise de conformidade, prevista na portaria de potabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). *ABNT ISO Guia 73: gestão de riscos: vocabulário*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.
- ABNT. *ABNT NBR ISO 31000: gestão de riscos: princípios e diretrizes*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.
- ABNT. *ABNT NBR ISO IEC 31010: gestão de riscos: técnicas para o processo de avaliação de riscos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- AS/NZS – AUSTRALIA, NEW ZEALAND. *AS/NZS 4360: 2004: risk management standard*. 3. ed. New Zealand: Standard Australia and Standard New Zealand, 2004.
- ABERNETHY, Jacob *et al.* Flint water crisis: data-driven risk assessment via residential water testing. In: BLOOMBERG DATA FOR GOOD EXCHANGE, 3., 2016, New York. *Proceedings* [...]. New York: Bloomberg, 2016. p. 1–8.
- ALMEIDA, Claudio R. O sistema HACCP como instrumento para garantir a inocuidade dos alimentos. *Higiene Alimentar*, São Paulo, v. 12, n. 53, p. 12–20, 1998.
- AMJAD, Urooj Quezon *et al.* Water safety plans: bridges and barriers to implementation in North Carolina. *Journal of Water and Health*, London, v. 14, n. 5, p. 816–826, 2016.

- BARTRAM, Jamie. *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. Geneva: WHO, 2009.
- BASTOS, Rafael K. X.; BEVILACQUA, Paula D.; MIERZWA, José C. Análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano. In: PÁDUA, Valter L. (coord.). *Remoção de micro-organismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 327–360.
- BAUM, Rachel; BARTRAM, Jamie; HRUDEY, Steve. The Flint water crisis confirms that US drinking water needs improved risk management. *Environmental Science & Technology*, Washington, v. 50, n. 11, p. 5436–5437, 2016.
- BEZERRA, Nolan R. *Aplicação de redes bayesianas na identificação de perigos em sistemas de abastecimento de água para consumo humano: estudo de caso no município de Viçosa, Minas Gerais*. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.
- BRAGA, Mônica. *Durões. Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle – APPCC: estudo de caso no sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Viçosa*. 2007. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. *Plano de segurança da água: garantindo a qualidade e promovendo a saúde: um olhar do SUS*. Brasília: Ministério da Saúde, 2012.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação n. 5, de 3 de outubro de 2017*. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*: seção 1: suplemento, Brasília, DF, n. 190, p. 360, 3 out. 2017.
- CARVALHO. R. C. M.; JACOB. R. R.; DURÂES, E. A S. Implantação do Plano de Segurança da Água na Sabesp: estudo de caso: ETA de Vargem. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SEGURANÇA DA ÁGUA, 2015, Brasília. *Anais eletrônicos [...]*. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. *Guidelines for the application of the Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) system*. Rome: FAO: WHO, 1993.
- DAVISON, Annette *et al.* *Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer*. Geneva: WHO, 2005.
- DAVISON, Annette; BARTRAM, Jamie. HACCP and Water Safety Plans. In: NSF CONFERENCE ON RISK MANAGEMENT STRATEGIES FOR DRINKING WATER UTILITIES, 2004. *Proceedings [...]*. Ann Arbor: NSF, 2004.
- DEWETTINCK, Tom *et al.* HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) to guarantee safe water reuse and drinking water production—a case study. *Water Science and Technology*, London, v. 43, n. 12, p. 31–38, 2001.
- DOMINGUEZ-CHICAS, Angelina; SCRIMSHAW, Mark D. Hazard and risk assessment for indirect potable reuse schemes: An approach for use in developing Water Safety Plans. *Water research*, Amsterdam, v. 44, n. 20, p. 6115–6123, 2010.
- GUNNARSDÓTTIR, María J.; GISSURARSON, Loftur R. HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: preliminary evaluation of experience. *Journal of Water and Health*, London, v. 6, n. 3, p. 377–382, 2008.
- HAAS, Charles N.; ROSE, Joan B.; GERBA, Charles P. *Quantitative microbial risk assessment*. New York: John Wiley & Sons, 1999.

- HAVELAAR, Arie H. Application of HACCP to drinking water supply. *Food Control*, Amsterdam, v. 5, n. 3, p. 145–152, 1994.
- HOWARD, Guy. Water safety plans for small systems: a model for applying HACCP concepts for cost-effective monitoring in developing countries. *Water Science and Technology*, London, v. 47, n. 3, p. 215–220, 2003.
- HRUDEY, Steve E. Drinking-water risk management principles for a total quality management framework. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, Abingdon, v. 67, n. 20-22, p. 1555–1566, 2004.
- MORENO, José. *Avaliação e gestão de riscos no controle da qualidade da água em redes de distribuição: estudo de caso*. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- MOURA, L. *et al.* Surto de toxoplasmose no município de Santa Isabel do Ivaí, Paraná. *Boletim Eletrônico Epidemiológico*, Brasília: Funasa, v. 3, p. 1–3, 2002.
- NIJHAWAN, Anisha *et al.* Implementation of water safety plan for a large-piped water supply system. *Environmental Monitoring and Assessment*, Berlin, v. 186, n. 9, p. 5547, 2014.
- OLIVEIRA, Daniel C. *Aplicação da Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle no tratamento de água para consumo humano*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.
- PIOLA, Sérgio F.; VIANNA, Solon M.; VIVAS-CONSUELO, David. Estudo Delphi: atores sociais e tendências do sistema de saúde brasileiro. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n.18, p.181–190, 2002.
- SCHMOLL, Oliver; CASTELL-EXNER, Claudia; CHORUS, Ingrid. From international developments to local practice: Germany’s evaluation and dialogue process towards water safety plan implementation. *Water Supply*, London, v. 11, n. 4, p. 379–387, 2011.
- VIDAL, Andrea P.; MARROQUÍN, C. P. A.; LOZADA, Patricia T. Identificación y priorización de peligros como herramientas de la gestión del riesgo en sistemas de distribución del agua potable. *Ingeniería y Universidad*, Bogotá, v. 16, n. 2, p. 449–470, 2012.
- VIEIRA, Jose M. P. A strategic approach for Water Safety Plans implementation in Portugal. *Journal of Water and Health*, London, v. 9, n. 1, p. 107–116, 2011.
- VIEIRA, Jose M. P.; MORAIS, Carla. *Manual para a elaboração de Planos de Segurança da Água para consumo humano*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos: Universidade do Minho, 2005.
- WHO (World Health Organization). *Guidance on the regulatory assessment of HACCP*. Geneva: WHO, 1998.
- WHO. *Guidelines for drinking-water quality*. Geneva: WHO, 2004.
- WHO. *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition*. Geneva: WHO, 2011.
- WRIGHT, James T. C. A técnica Delphi: uma ferramenta útil para o planejamento do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO EMPRESARIAL – “COMO PLANEJAR”, 3., 1985, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Planejamento Empresarial, 1986. p.199–207.



Metodologia para implantação de sistema para captação de água pluvial em residências urbanas

ANTONIO PASQUALETTO
WANESSA SILVA ROCHA

Haja vista que os recursos hídricos acessíveis ao consumo humano direto constituem uma fração mínima do capital hidrológico disponível, observa-se que a água, em escala mundial, é um bem cada vez mais escasso, em razão do crescimento da população e das atividades econômicas, com aumento da demanda e redução da oferta, condicionada ainda pela poluição dos mananciais (BERNARDI, 2003).

A escassez de água é, de fato, uma realidade em todo o mundo. Não seria diferente no Brasil, que, mesmo concentrando cerca de 12% da água doce do planeta, enfrenta situações como anos de seca nas regiões áridas e semiáridas e níveis baixíssimos nos reservatórios nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. Configura-se, assim, uma crise hídrica, que torna evidente a importância de procurar alternativas que propiciem o uso racional e eficiente da água, de forma a garantir a potabilidade e o abastecimento público.

Existem várias tecnologias que permitem que a água, mesmo poluída, possa ser recuperada e reutilizada para fins benéficos diversos, o que varia conforme sua qualidade e o objeto específico de seu reuso – informações pelas quais serão estabelecidos os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados. Hespanhol (2003) afirma que as possibilidades e as formas potenciais desse reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais.

Entre as possibilidades de reutilizar os recursos hídricos, a captação e a reciclagem de água pluvial em residências urbanas constituem uma alternativa técnica e socialmente viável. A água da chuva pode ser aproveitada para os usos doméstico, industrial e agrícola, além de outras aplicações, o que está em franco desenvolvimento.

A água da chuva captada em residências pode ser destinada a usos menos nobres, como: irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, limpeza de pisos e veículos e, eventualmente, lavagem de roupas (SABESP, 2020).

A captação e a utilização de água pluvial não constituem uma prática nova e têm sido empregadas em todo o mundo há anos. Assim, incentivar o emprego desse recurso pela população em suas residências é uma forma ambientalmente correta, que poderá reduzir a demanda de água nos sistemas de abastecimento público e gerar a conscientização para o consumo (REBOUÇAS, 2003). A implantação de um sistema para esse aproveitamento em residências urbanas se viabiliza justamente pelo baixo custo e pela fácil execução, a qual pode ser realizada pelo próprio morador, bastando que ele siga as orientações técnicas pertinentes. Em observação a essa possibilidade, objetivou-se apresentar, neste trabalho, uma alternativa acessível, de forma metodológica, para a implantação de um sistema de captação de água das chuvas em moradias urbanas e para o dimensionamento do reservatório de armazenamento.

AS VANTAGENS E A ACEITAÇÃO DO USO DE ÁGUA PLUVIAL

A diversificação cada vez maior das atividades humanas, associada ao crescimento demográfico, principalmente nas cidades, vem exigindo atenção às necessidades de consumo de água para as mais variadas finalidades. Esse consumo aumentou mais de seis vezes em menos de um século – mais do que o dobro das taxas de crescimento da população – e continua a crescer.

Uma das opções que se têm apontado para o enfrentamento da crise hídrica e do estrangulamento dos sistemas de abastecimento público é o reúso de água, visto como importante instrumento de gestão ambiental, o qual dispõe de tecnologias consagradas para a sua adequada utilização (PHILIPPI JR., 2003). Entre as alternativas de reúso, a captação de água de chuvas, que faz parte da estratégia global para a administração da qualidade dos recursos hídricos, integra, desde 1999, uma das propostas lançadas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Trata-se de prática muito difundida em países como a Austrália e a Alemanha, onde novos sistemas vêm sendo desenvolvidos de forma a viabilizar captação de água de boa qualidade de maneira simples e bastante efetiva em termos de custo e benefício.

A experiência internacional tem mostrado que projetos dessa natureza, tecnicamente viáveis, produzem resultados comprovadamente seguros e atestados pelos melhores procedimentos científicos disponíveis, pelo que são aceitos pelas agências oficiais de meio ambiente e de saúde, mas não pelo público. De acordo com Mancuso (2003), a aceitação pública é o mais crucial dos elementos na determinação do sucesso de um programa de reúso de água pluvial. Embora seja bastante usual em outras partes do mundo, essa prática não é muito difundida no Brasil. Por esse motivo, entende-se

a necessidade de pesquisas que evidenciem a utilização de água pluviais tratadas e determinem melhorias nos procedimentos de sua aplicação, bem como explicitem os critérios e cuidados a serem observados (BLUM, 2003).

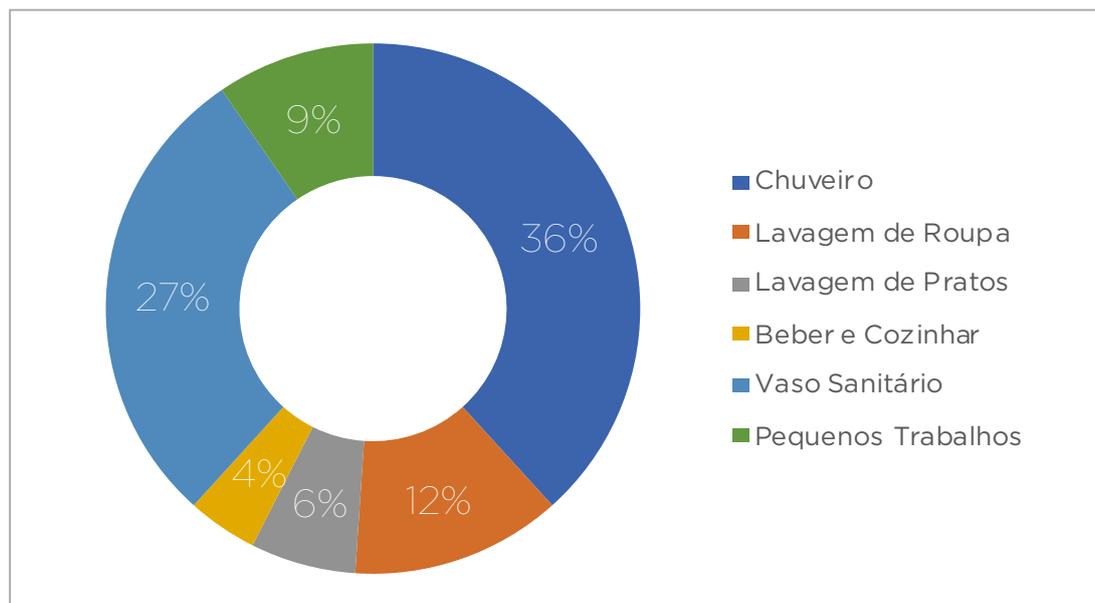
Há de considerar que a composição da água de chuva pode variar de acordo com diversos fatores: localização geográfica, condições meteorológicas, intensidade e duração da precipitação, regime dos ventos, estação do ano, proximidade de vegetação e cargas poluentes (HESPANHOL, 2003). Nesse sentido, a escolha de fontes alternativas de abastecimento deve ponderar não somente os custos envolvidos na aquisição mas também os custos relativos à descontinuidade do fornecimento e à necessidade de garantir a qualidade exigida para cada uso específico, resguardando a saúde pública dos usuários internos e externos (ANA, 2005). Também é importante promover ações que, além de estimularem o consumo consciente, levem à população informações sobre benefícios e desvantagens da utilização de água pluvial.

Hespanhol (2003) afirma que a prática em questão, classificada como reúso não potável, pode ser empregada tanto em residências urbanas quanto em grandes edifícios. Em relação às vantagens ambientais, sociais e econômicas, assinala-se que tal reúso:

- a. reduz o consumo de água da rede pública e, por extensão, o custo de fornecimento;
- b. minimiza o uso desnecessário de água potável em atividades como a descarga de vasos sanitários, a irrigação de jardins, a lavagem de pisos etc.;
- c. requer investimento mínimo de tempo, atenção e dinheiro para a instalação do sistema de captação na maioria dos telhados e resulta em retorno sempre positivo;
- d. favorece, ecológica e financeiramente, o combate ao desperdício de um recurso natural escasso em toda a cidade, mas abundante nas precipitações sobre as casas;
- e. contribui para a contenção de enchentes, represando parte da água que teria de ser drenada para galerias e rios;
- f. estimula a conservação de água, a autossuficiência e a postura ativa da população perante os problemas ambientais da cidade.

Vale lembrar que, de acordo com Ecycle (2017), o consumo médio diário de uma pessoa é calculado por meio da divisão entre o consumo total de água em um município, estado ou país e o número total de pessoas abastecidas nessa mesma área. De acordo com a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3 mil litros de água por mês (cerca de 110 litros de água por dia para atender às necessidades de consumo e higiene), no entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia (SABESP, 2020). Esse consumo é distribuído entre várias atividades. Na Figura 1, são apresentados, em percentual, os usos mais comuns de água em uma residência.

FIGURA 1 - CONSUMO DE ÁGUA POR ATIVIDADE NA RESIDÊNCIA



Fonte: Adaptado de Ecycle (2017).

Nota-se que parte dos usos de água em residência pode ser suprida pela água captada das chuvas, o que geraria redução significativa no consumo, diminuiria a pressão sobre o sistema de abastecimento e resultaria em economia para o consumidor final.

CUIDADOS NO USO DA ÁGUA PLUVIAL

Ainda não há estudos detalhados que relatem riscos à saúde humana referentes ao uso de água pluvial. Considerando que o sistema doméstico de captação, de maneira geral, não agrega tratamentos hídricos especializados, deve-se ressaltar alguns cuidados que deverão ser observados. Blum (2003) afirma, nesse sentido, que é preciso observar as possibilidades de contato humano com a água de reúso, que pode ocorrer: por ingestão direta de água; por ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas e consumidas cruas; por inalação de aerossóis formados, por exemplo, em sistemas de irrigação por aspersão; pela pele em banhos em lagos; pela visão e pelo olfato, como em descargas sanitárias.

Quanto aos critérios gerais de qualidade no planejamento de sistemas de reúso, destaca-se que:

- o reúso não deve resultar em riscos sanitários à população;
- o reúso não deve causar nenhum tipo de objeção por parte dos usuários;
- o reúso não deve acarretar prejuízos ao meio ambiente;
- a fonte de água, que será submetida a tratamento para posterior reúso, deve ser quantitativa e qualitativamente segura;
- a qualidade da água deve atender às exigências relativas aos usos a que ela se destina.

Assim sendo, é necessário equilibrar as relações risco/benefício e custo/eficácia das tecnologias para a instalação do sistema de captação e reúso de água pluvial. Tendo em vista todas as vantagens ambientais, sociais e econômicas do reaproveitamento de água pluvial, sobretudo a redução do consumo de água e do custo de fornecimento, principalmente em época de estiagem, bem como a minimização do uso desnecessário de água potável, apresenta-se uma metodologia básica e de fácil aplicabilidade em residências urbanas.

DIMENSIONAMENTO PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS URBANAS

A seguir, é apresentada uma sequência informativa demonstrando metodologicamente o que avaliar na implantação de um sistema de captação de água pluvial e como dimensioná-lo para sua instalação em residências urbanas, que pode ser facilmente executada pelo próprio morador.

ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO

Para a implantação do sistema de captação de água pluvial, deve-se verificar primeiramente o índice pluviométrico da localidade em que se encontra a residência. O índice pluviométrico é medido em milímetros, resultado da somatória da quantidade de precipitação de água (chuva, neve, granizo) num determinado local durante um dado período de tempo (AQUASTOCK, 2017). Para obter o índice pluviométrico, deve-se procurar informações nos históricos da região/município, por meio dos dados diários fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em seu site.

A partir do levantamento desses dados, é calculado o desempenho do sistema, mediante a observação dos dias de chuva e do volume captado disponível para utilização na residência. Deve-se desconsiderar qualquer tipo de evaporação ou mesmo de evapotranspiração, pois toda a água captada será filtrada e direcionada aos reservatórios fechados.

CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA

Para o cálculo do consumo de água, Ecycle (2017) considera, de um modo geral, uma residência com 100 m² de cobertura para captação e com cinco moradores, consumindo cada um 200 litros/dia. O consumo de água não potável nessa residência corresponde a 45% do total consumido diariamente (Quadro 1):

- consumo total de água *per capita*: 200 L/dia;
- consumo total de água na residência com cinco moradores: 1.000 L/dia;
- consumo total de água não potável: 450 L/dia = 0,45m³/dia.

QUADRO 1
QUANTIFICAÇÃO DO CONSUMO MÉDIO DE ÁGUA EM UMA RESIDÊNCIA COM CINCO MORADORES

CONSUMO POTÁVEL (%)		CONSUMO NÃO POTÁVEL (%)	
Chuveiros	36	Lavagem de Roupas	12
Lavagem de Pratos	6	Vasos Sanitários	27
Beber e Cozinhar	4	Lavagem de Carros e Jardins	6
Outros Usos	9		
TOTAL	55	TOTAL	45

Fonte: Adaptado de Ecycle (2017).

Conforme explicitado, um dos principais usos da água de chuva pode ser em vasos sanitários, que responde por 27% do consumo residencial. Para isso, é preciso implementar sistemas de captação e armazenamento da água coletada.

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA COLETADA

O sistema para captação e reaproveitamento de águas pluviais compõe-se, de acordo com Hespagnol (2003), de um dispositivo de coleta da água pluvial que cai nas coberturas de edificações. Neste estudo, simula-se que a água será conduzida por calha em um telhado de 100m², seguindo para filtração primária, em que serão removidas folhas, papéis e outros resíduos granulados maiores. Sugere-se a utilização de um filtro como o modelo 3P VF1 (Figura 2), que é um sistema utilizado para filtragem da água de chuva de telhados com áreas de até 200m². Seu grau de eficiência varia de 90% a 95% de retenção de sólidos, dependendo da intensidade de precipitação.

FIGURA 2 - O FILTRO 3P VF1

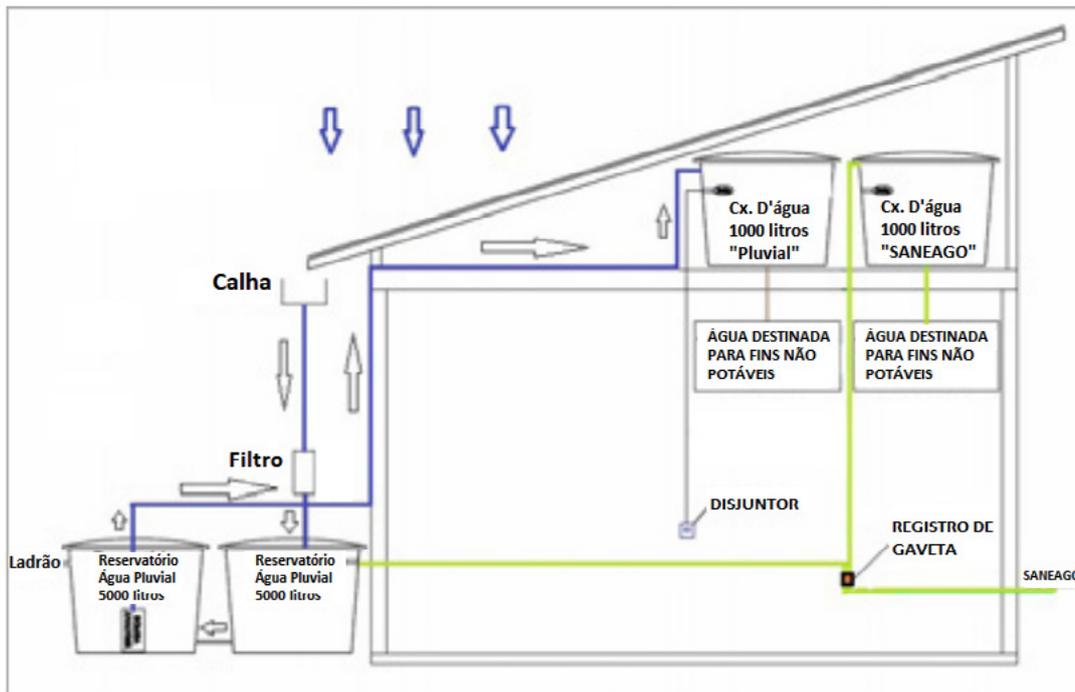


Fonte: Technik (2017).

Os resíduos separados não se acumulam, pois são encaminhados por um sistema de descarga alternativo. A filtragem, nesse caso, ocorre em dois estágios, o que permite reduzir a manutenção para duas vezes ao ano, salvo situações muito especiais em que se acumula maior quantidade de resíduos sólidos na área coberta. Após a filtragem primária, a água segue para o reservatório onde é armazenada para posterior recalque.

de água no fornecimento público, o que misturaria as águas, alterando a qualidade daquela que é destinada para fins mais nobres. A Figura 4 demonstra exatamente esse processo.

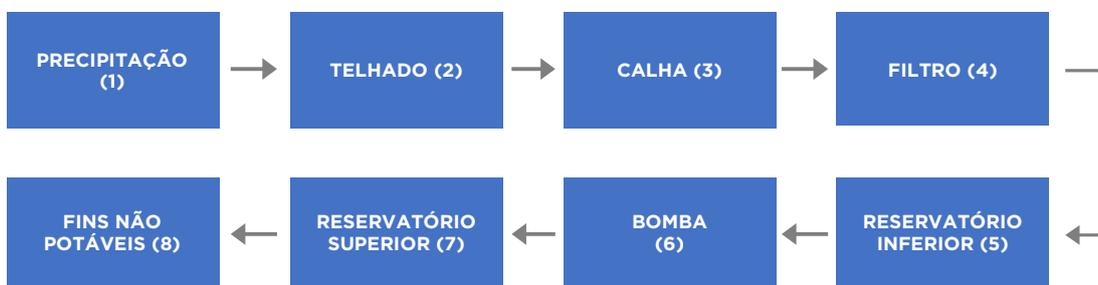
FIGURA 4 - MODELO PARA CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL - CORTE



Fonte: Roncato e Pasqualetto (2008).

Em suma, a água da chuva percorre este circuito: ao cair no telhado, é direcionada pela calha ao filtro (3PVF1) e depois é despejada no reservatório de 10.000 litros; em seguida, é bombeada ao reservatório superior (1.000 litros), ficando à disposição dos usos com fins não potáveis. A Figura 5 apresenta o fluxograma de todo o sistema proposto para captação de água pluvial.

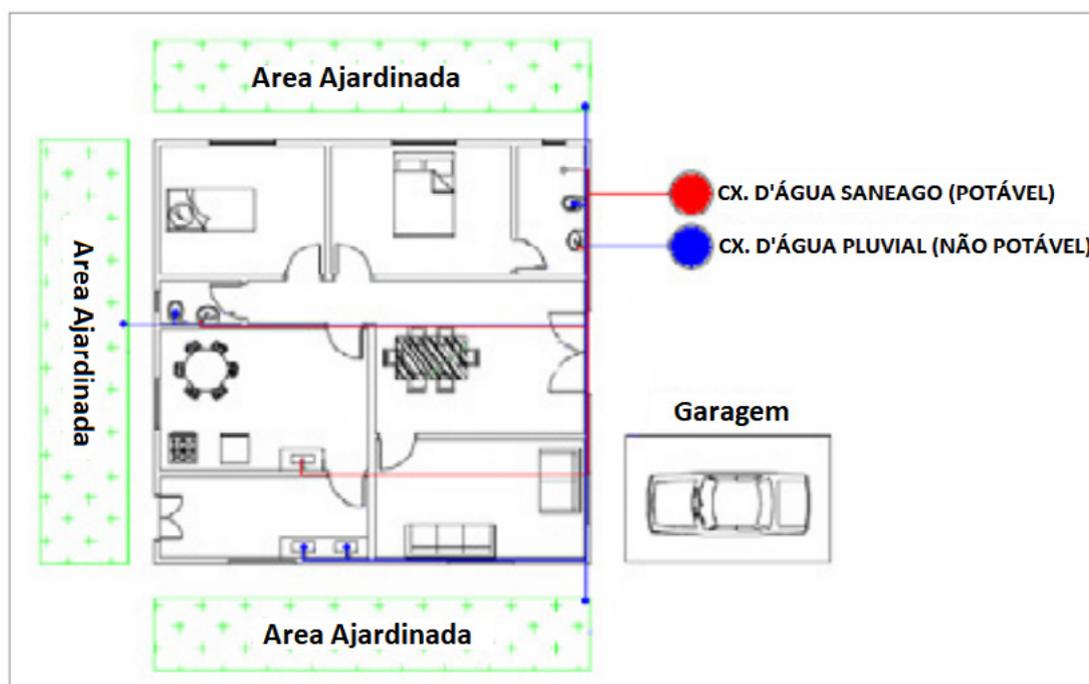
FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA CAPTAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA



Fonte: Produzida pelos autores (2017).

A distribuição da água na casa se define conforme fins nobres e não nobres, como é apresentado no esquema da Figura 6. Algumas finalidades requerem padrão de qualidade seguro para a saúde humana; por isso, direciona-se a água tratada aos chuveiros, aos lavatórios dos banheiros e à pia da cozinha.

FIGURA 6 - PLANTA BAIXA (DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS NA RESIDÊNCIA)



Fonte: Roncato e Pasqualetto (2008).

O sistema de armazenamento pluvial atende apenas aos fins em que não há contato direto das pessoas com a água e que não exigem um padrão de tratamento, como os usos em jardinagem, tanques de área de serviço, vasos sanitários e limpeza do carro e do chão. Para que essa distribuição ocorra conforme o planejado, é preciso realizar alguns cálculos.

CÁLCULO DO VOLUME DE ÁGUA CAPTADO

Para o cálculo do volume de água captada, basta multiplicar a área do telhado pela precipitação pluviométrica diária, o que está apresentado na Equação 1.

$$V_{\text{captado}} = \text{Área telhado} * \text{Precipitação pluviométrica média diária} \quad (1)$$

CÁLCULO DA ECONOMIA MENSAL NA TAXA DE ÁGUA

Para se ajustar à política da concessionária regente, deve-se registrar a residência como *residência normal (com fonte alternativa de água)*, sendo a fonte classificada como cisterna. Tendo em vista que há variação de custo por metro cúbico de acordo com a faixa de consumo, a economia na taxa de água é calculada subtraindo a tarifa da faixa de consumo correspondente a essa classificação do total da taxa referente à faixa de consumo para *residência normal (sem fonte alternativa de água)*, como se observa na Equação 2.

$$\text{Total de econ. na taxa de água (R\$)} = \text{tarifa total s/ f. alternativa} - \text{tarifa total c/ f. alternativa} \quad (2)$$

CÁLCULO DA ECONOMIA MENSAL NA TAXA DE ESGOTO

Para a taxa de esgoto, também há variação de custo por faixa de consumo, porém se considera 20% de perda, ou seja, a cada 1 litro de água que chega à residência é cobrado aproximadamente 0,8 litro para o tratamento do esgoto, com oscilação conforme a região do país. Logo, o cálculo da economia na taxa de esgoto utiliza a mesma metodologia para o cálculo de economia na taxa de água: subtrai-se da tarifa da faixa de consumo para *residência normal (sem fonte alternativa de água)* o total da taxa referente à faixa de consumo para *residência normal (com fonte alternativa de água)*, como expõe a Equação 3.

$$\text{Total de econ. taxa de esg. (R\$)} = \text{tarifa total s/ f. alternativa} - \text{tarifa total c/ f. alternativa} \quad (3)$$

CÁLCULO TOTAL DA ECONOMIA MENSAL (ESGOTO E ÁGUA)

Para obter o total de economia mensal, somam-se as taxas de água e de esgoto referentes a uma *residência normal (com fonte alternativa de água)* e, em seguida, subtrai-se essa soma do total gasto em uma *residência normal (sem fonte alternativa de água)*, o que está demonstrado na Equação 4.

$$\text{Total de econ. (R\$)} = \text{tar. total (água+esgoto) s/ f. alternativa} - \text{tar. total (água+esgoto) c/ f. alternativa} \quad (4)$$

Para o cálculo da economia anual, deve-se somar as economias mensais com o intuito de estimar o retorno do investimento em anos.

CÁLCULO DO RETORNO DO INVESTIMENTO

Para o cálculo do retorno do investimento, divide-se o valor investido na implantação do sistema de captação e armazenamento pela economia anual com o reaproveitamento da água pluvial, como apresentado na Equação 5. Há variação de taxa de capitalização não considerável para esse investimento.

$$\text{Retorno do investimento} = \text{valor investido} / \text{economia anual} \quad (5)$$

CÁLCULO PARA AS TARIFAS DE ÁGUA E ESGOTO

Para o cálculo das tarifas, a concessionária regente utiliza estrutura de taxa de forma progressiva, em que é estabelecida a cota mínima de 1 a 10 m³ e, a partir desse limite, cada faixa possui seu valor por metro cúbico, com base no qual é calculada a tarifa total a ser paga pelo consumo de acordo com a faixa correspondente. A taxa de esgoto é a única que se altera em razão da utilização de fontes alternativas de água, sendo mais alta para residências com o sistema de captação. Uma vez contabilizadas todas as tarifas de residências com e sem fonte alternativa de água, calcula-se a economia total em reais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo propõe uma metodologia para instalação de um sistema de captação de água pluvial econômica e ambientalmente viável. Essa fonte hídrica é utilizada há muito tempo, principalmente em regiões que sofrem com a escassez. Apesar de ser um dos países com maior disponibilidade de água, o Brasil também enfrenta problemas de abastecimento em regiões com consumo exacerbado, com baixo índice pluviométrico e/ou com água de má qualidade.

Se a água de boa qualidade, como a tratada pelos sistemas de abastecimento público, deve ser destinada a fins mais nobres, a água da chuva pode ser aproveitada em usos que não requerem potabilidade. Sua aplicação nos âmbitos doméstico, industrial e agrícola está em franco desenvolvimento. No âmbito doméstico, a água captada serve, por exemplo, para irrigação de jardins, descarga em vasos sanitários e lavagem de pisos, roupas e automóveis.

Por todas as razões expostas, são recomendáveis o dimensionamento e a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva em residências urbanas. Importa destacar que o método em questão é uma proposta para otimizar o uso dos recursos hídricos disponíveis, tendo em vista que esse sistema alternativo apresenta viabilidade técnica, eficiência e sustentabilidade econômica e ambiental, de tal forma que poderia receber incentivos para sua adoção pública por parte do governo brasileiro.

REFERÊNCIAS

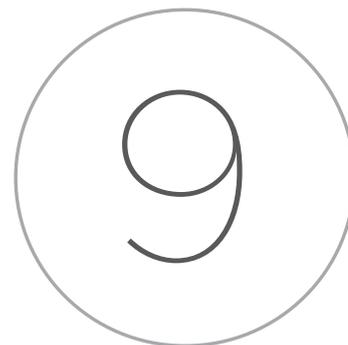
- ANA (Agência Nacional das Águas). *Conservação e reúso da água em edificações*. Brasília: Prol, 2005.
- ANAUGER. *Bomba*. Disponível em: <http://www.anauger.com.br>. Acesso em: 14 abr. 2017.
- AQUASTOCK. *Água da chuva: sistema de reaproveitamento da água da chuva*. Disponível em: <http://www.engeplasonline.com.br>. Acesso em: 21 maio 2017.
- BERNARDI, Cristina C. *Reúso de água para irrigação*. 2003. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) – Ecobusiness School, Brasília, 2003.
- BLUM, José R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. (ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 125–173.
- ECYCLE. *Usos da água: tipos e fatores que influenciam demanda*. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/3223-usos-da-agua.html>. Acesso em: 29 maio 2017.
- HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. (ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 37–95.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). *Dados*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 1º maio 2017.
- MANCUSO, Pedro C. S. Tecnologia de reúso de água. In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. (ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 291–338.
- PHILIPPI JR., Arlindo. Introdução. In: MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. (ed.). *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. p. 13–17.
- REBOUÇAS, Aldo da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. *Bahia Análise e Dados*, Salvador, v. 13, p. 341–345, 2003.

RONCATO, Leandro; PASQUALETTO, Antonio. *Viabilidade econômico/ambiental da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial em edificação de 100m² de cobertura*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008.

SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). *Dicas de economia*. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/inter-na/Default.aspx?secaoId=140>. Acesso em: 29 jul. 2020.

TECHNIK. *Soluções para o manejo sustentável das águas pluviais*. Disponível em: <http://www.3ptechnik.de/brazil/index.php>. Acesso em: 12 maio 2017.

Critérios ambientais para embasamento da escolha de fontes alternativas de abastecimento hídrico: o caso das cavas de mineração



VINÍCIU FAGUNDES BÁRBARA
ROSANA GONÇALVES BARROS

A água é um recurso natural necessário ao desenvolvimento de todas as atividades humanas. Contudo, fontes de abastecimento estão escassas em diversas regiões do mundo, o que tem fomentado a busca por alternativas de atendimento das crescentes demandas hídricas. Os passivos ambientais formados por cavas de mineração se destacam neste contexto, pois, devido ao fato de conterem grandes volumes de água acumulada, passaram a ser cogitadas como opções de abastecimento por parte de gestores públicos de vários países. Entretanto, os riscos ambientais associados aos lagos formados pela indústria da mineração podem ser elevados, uma vez que suas águas tendem a refletir os processos locais de condicionamento geológico, muitas vezes se apresentando ácidas e contaminadas por elementos potencialmente tóxicos, como metais. Apesar disso, não raramente são de boa qualidade, podendo ser utilizadas para diversos fins, inclusive abastecimento público. Todavia, em determinados casos, a qualidade das condições hídricas, que se mostram quimicamente satisfatórias num primeiro momento, diminui ao longo do tempo, à medida que processos químicos, físicos e biológicos associados à intemperização edáfica se intensificam.

Com a intenção de contribuir com as discussões a respeito desse tema ambiental emergente, em especial com as reflexões sobre a importância do estabelecimento de critérios técnico-científicos para embasar decisões de seleção de cavas aptas ao abastecimento público, o presente artigo traz considerações elaboradas com base em amplo levantamento bibliográfico sobre impactos ambientais de lagos de mineração.

MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE

Apesar de imprescindível para o desenvolvimento da sociedade, a indústria mineral é conhecida como uma das atividades que mais impactam o meio natural.

Uma das principais explicações para a magnitude das intervenções ambientais desencadeadas pelo setor consiste no fato de que as jazidas minerais são fixas, ou seja, não possibilitam estudos de alternativas locais que possam resultar na mitigação de impactos. Além da rigidez situacional, há os riscos ambientais associados às instalações propriamente ditas que compõem os complexos de beneficiamento mineral, como unidades transportadoras, pilhas de lixiviação e estéreis e barragens de rejeitos. Neste último caso, destaca-se o fato ocorrido no distrito de Mariana/MG em 2015: o rompimento da Barragem do Fundão (Figura 1), onde estavam acumuladas toneladas de rejeitos advindos da exploração de minério de ferro. O acidente provocou a introdução de milhões de metros cúbicos de lama tóxica no Rio Doce e no Oceano Atlântico, desencadeando um dos maiores cenários de degradação ambiental já registrados no Brasil. As projeções mais otimistas apontam que serão necessárias décadas para que os elementos naturais afetados apresentem sinais minimamente consistentes de recuperação ecológica (LOPES, 2016).

FIGURA 1 - IMAGEM DA BARRAGEM DO FUNDÃO (DISTRITO DE MARIANA/MG)



Nota: O rompimento da barragem em novembro de 2015 causou a introdução de toneladas de rejeitos de mineração nos ecossistemas locais e no Oceano Atlântico.

Fonte: Mineradora... (2015).

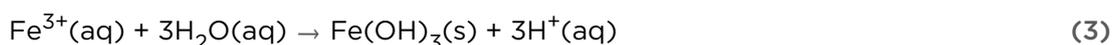
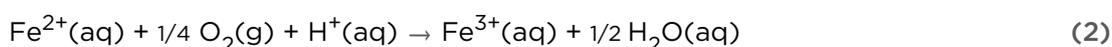
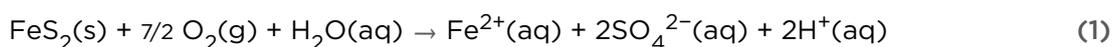
Embora sejam submetidos ao licenciamento prévio obrigatório, empreendimentos minerários continuam a apresentar uma gestão ambiental complexa. Ademais, o acompanhamento do poder público dos impactos gerados durante as atividades de exploração e, notadamente, após o seu encerramento ainda é incipiente no país, pois, até então, a grande maioria das empresas não chegou à fase de desativação e, por isso, ainda concentra maior atenção na extração, no beneficiamento e no aproveitamento dos

recursos minerais, o que torna o fechamento de minas um tema recente. No entanto, mesmo quando se trata de sítios desativados, as medidas de recuperação ambiental, se realizadas, seguem práticas convencionais e pouco eficientes (MPMG, 2012).

Quando a exploração mineral é desenvolvida a céu aberto, formam-se depressões nas áreas das jazidas exauridas, denominadas cavas de mineração. Com a finalização das atividades de extração e a paralisação das medidas de rebaixamento do nível freático – prática que garante a ausência de água durante a exploração mineral –, as cavas tendem a formar lagos artificiais devido ao aporte hídrico advindo do subsolo e das precipitações.

Normalmente com grandes dimensões, cavas são um fenômeno ambiental emergente de intensificação recente em escala planetária. Em diversas regiões, é esperado o seu aumento numérico nas próximas décadas devido ao esgotamento das jazidas ainda em operação, notadamente em países da Europa e da África, nos Estados Unidos, no Canadá, na Austrália, no Chile e no Brasil (SANTOFIMIA; LÓPEZ-PAMO; REYES, 2012).

Águas de cavas podem se tornar ácidas e ser contaminadas por metais em virtude da drenagem ácida de mina (DAM), processo formado quando minerais sulfetados reativos às intempéries e originalmente em condições de equilíbrio são expostos às águas pluviais e ao ar, reagindo quimicamente e desprendendo um percolado ácido e rico em metais potencialmente tóxicos dissolvidos. Muito comum em jazidas de minerais nobres, a pirita se constitui no principal elemento químico responsável pela DAM. Segundo Mello, Duarte e Ladeira (2014), sua oxidação consiste na liberação do bissulfeto de ferro (Equação 1). Na sequência, Fe^{2+} é oxidado a Fe^{3+} (Equação 2), produzindo hidróxido férrico via hidrólise. Consequentemente, os prótons liberados tornam o meio ácido (Equação 3).



Apesar da contaminação inerente à grande parcela dos empreendimentos mineiros e de seus efeitos potenciais sobre as condições hídricas de cavas, estas também podem apresentar águas com qualidade satisfatória, configurando-se em recursos valiosos para usos selecionados, como lazer, recreação, práticas esportivas, dessedentação de animais, piscicultura e até mesmo abastecimento público.

No Brasil, embora algumas cavas já sejam utilizadas de maneira informal por populações de determinadas regiões, a maior parte delas está abandonada. Esta é a situação observada, por exemplo, em Mara Rosa/GO, onde existiram extrações au-

ríferas em garimpos de aluvião, entretanto, com o passar do tempo, essa atividade rudimentar deu lugar a grandes empresas de mineração a céu aberto, que estão desativadas atualmente, mas cujos passivos ambientais não foram recuperados a contento. Tais passivos são constituídos principalmente por três cavas situadas na área rural do município, denominadas de Cava Maior (com área aproximada de 1,7 ha), Cava Menor (0,7 ha) e Lago Azul (2,8 ha), como se observa nas figuras 2 e 3. As duas primeiras distam cerca de 250 m entre si. O Lago Azul é muito utilizado pela população local para atividades de recreação, lazer e esportes aquáticos. As cavas Menor e Maior, por sua vez, estão em uma área mais isolada, embora também sejam utilizadas por algumas pessoas para a pesca.

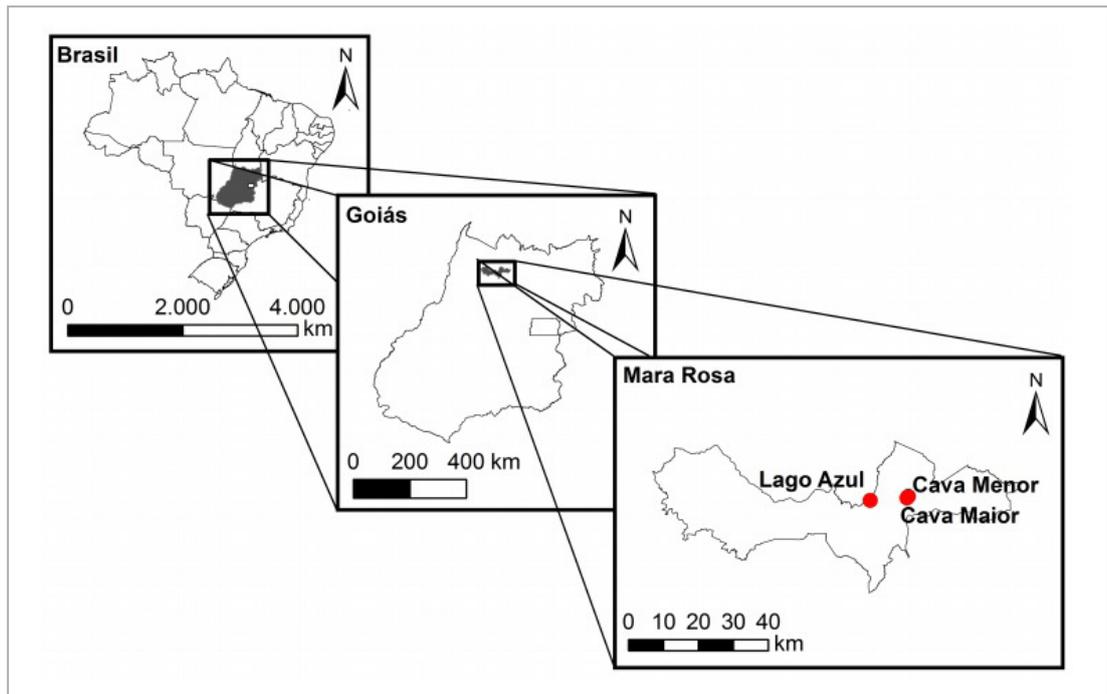
No Brasil, ainda é incipiente o conhecimento do comportamento ambiental de cavas que possibilitaria sua associação a usos hídricos potenciais, pois, além de o país não possuir um levantamento sistematizado das unidades de mineração existentes em seu território, não dispõe de legislações específicas a respeito. Adicionalmente, até então, inexistem critérios técnico-científicos claros e suficientes para subsidiar decisões seguras dos gestores públicos a respeito do uso das águas de cavas, sobretudo quando o objetivo é atender à finalidade de abastecimento público.

ASPECTOS AMBIENTAIS DE CAVAS DE MINERAÇÃO NO MUNDO

Com o objetivo de traçar um panorama de como os lagos de mineração são entendidos pela perspectiva científica de pesquisadores das Ciências Ambientais dos mais diferentes países, realizou-se um levantamento dos artigos ligados ao tema publicados internacionalmente. Para tanto, utilizou-se a opção “Busca avançada” do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), que engloba dezenas de bases de dados bibliográficos – incluindo Web of Science, Scopus e Elsevier, entre outras –, escolhidas no campo “Selecione bases de dados de busca”. O levantamento foi finalizado em 20/02/2017, tendo contemplado a busca somente por “artigos” no período compreendido entre a data das publicações mais antigas disponibilizadas pelo Portal de Periódicos e a referida data, perfazendo 38 anos.

Os trabalhos foram selecionados mediante a busca da palavra-chave *pit lake* no campo “Assunto”. Em seguida, com o uso da opção “Expandir meus resultados”, o sistema automaticamente sugeriu a inserção de outras 19 palavras-chave, a saber: *mining; lakes; surface mining; open-pit mining; mines; environmental geology; pollution; geochemistry; surface water; water quality; metals; hydrochemistry; pH; acid mine drainage; freshwater; sediments; sulfates; iron and groundwater*. Estas, em conjunto com a primeira, foram utilizadas para ampliar o escopo da busca.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DO LAGO AZUL E DAS CAVAS MAIOR E MENOR, EM MARA ROSA, GOIÁS, BRASIL



Fonte: Produzida pelos autores.

FIGURA 3 - IMAGENS DA (A) CAVA MENOR, (B) CAVA MAIOR E (C) E (D) LAGO AZUL



Fonte: Produzida pelos autores.

Os artigos identificados foram então submetidos a uma avaliação prévia do título, do resumo e das palavras-chave, o que possibilitou a seleção refinada dos trabalhos que

enfatazaram o estudo de impactos ambientais de cavas de mineração a céu aberto. Uma vez escolhidas, as publicações foram integralmente lidas, analisadas, fichadas e discutidas.

Majoritariamente, o levantamento demonstrou que a pesquisa de métodos para a melhor compreensão dos impactos ambientais de cavas de mineração é um esforço ainda tímido por parte da comunidade científica internacional, o que resultou em pouco conhecimento acumulado sobre o assunto. Dado o recente entendimento das cavas como problema ambiental, verificou-se que os trabalhos científicos na área necessitam avançar significativamente para a consolidação de mais informações.

O primeiro estudo ligado ao tema publicado foi o de Davis e Ashenberg (1989), que avaliou o perfil químico das águas ácidas do Lago Berkeley, nos Estados Unidos, uma das maiores e mais icônicas cavas do mundo. Com 542 m de profundidade, o lago foi paulatinamente tomado por águas subterrâneas após o encerramento das atividades de exploração de cobre. A pesquisa contemplou a análise da qualidade ambiental, bem como simulações computacionais, visando à definição de processos de neutralização e diminuição da distribuição de metais na coluna hídrica mediante a introdução de rejeitos alcalinos.

Apesar dos enfoques metodológicos variados, as análises ambientais de cavas ainda são majoritariamente desenvolvidas com base em aspectos químicos, ou seja, uma abordagem tradicional de controle e monitoramento ambiental (AYUSO *et al.*, 2013; BOWELL; PARSHLEY, 2005; BRANDENBERGER *et al.*, 2004; CÁNOVAS *et al.*, 2015; CASTENDYK; WEBSTER; MAUK, 2005; ÇOLAK; GEMICI; TARCAN, 2003; CZOP *et al.*, 2011; DELGADO-MARTIN *et al.*, 2013; DENIMAL *et al.*, 2005; EDBERG; ANDERSON; HOLMSTRÖM, 2012; GAMMONS *et al.*, 2013; GRANDE *et al.*, 2014; HERZSPRUNG *et al.*, 2005; HRDINKA *et al.*, 2013; KOSCHORRECK; WENDT-POTTOHOFF, 2012; LOTTERMOSER; ASHLEY; COSTELLOE, 2005; MIGASZEWSKI *et al.*, 2008; MILLU; LEROY; PEIFFERT, 2002; MOLLEMA *et al.*, 2015; MOSER; WEISSE, 2011; PELLICORI; GAMMONS; POULSON, 2005; POERSCHMANN; KOSCHORRECK; GÓRECKI, 2012; RAMSTEDT; CARLSSON; LÖVGREN, 2003; SÁNCHEZ-ESPAÑA *et al.*, 2008; SANTOFIMIA; LÓPEZ-PAMO; REYES, 2012; SCHULTZE; POKRANDT; HILLE, 2010; SHEVENELL, 2000; SHEVENELL; CONNORS; HENRY, 1999; TRIANTAFYLLIDIS; SKARPELIS, 2006; YUCEL; BABA, 2013). Nesse sentido, predominam pesquisas que avaliaram a qualidade da água e dos sedimentos de cavas e as relações desses compartimentos ambientais com os elementos de condicionamento químico existentes no entorno, como paredes de rocha (bermas e taludes), pilhas de estéreis e rejeitos e solos expostos às intempéries. Também foram desenvolvidos estudos relacionando tais aspectos à estratificação química da água, à avaliação do potencial de geração de DAM, à formação e à mobilidade de substâncias tóxicas e à presença de microrganismos no perfil hídrico.

Até então, sabe-se que, embora algumas cavas apresentem condições favoráveis ao desenvolvimento de usos hídricos específicos, trata-se de unidades de comportamento

ambiental complexo e instável, com potencial para fomentar o surgimento de áreas contaminadas. Grande *et al.* (2014), por exemplo, estudaram minerações existentes em Portugal que foram exploradas há mais de 2.000 anos, tendo concluído que o efeito da contaminação causada por uma rede de dissipação de drenagens ácidas advindas de um complexo de mais de 90 lagos de mina já havia alterado as condições químicas de aproximadamente 5.000 ha.

A contaminação de recursos hídricos situados a jusante da maior mina a céu aberto de cobre da Romênia, a Rosia Poieni, foi investigada por Millu, Leroy e Peiffert (2002). Os autores identificaram que a DAM se mostrava ativa e liberava elevadas concentrações de elementos tóxicos na área, como alumínio, ferro, cobre, zinco, chumbo, arsênio e irídio, impacto que deverá perdurar por pelo menos cinquenta anos e que exigirá monitoramento contínuo. Çolak, Gemici e Tarcan (2003) mensuraram o passivo ambiental formado na área de uma antiga mina a céu aberto de borato da Turquia, onde pessoas da região foram diagnosticadas com sintomas de contaminação por arsênio. A pesquisa consistiu na análise de alíquotas de solo e águas superficiais e subterrâneas advindas de uma rede amostral estrategicamente distribuída na área, tendo identificado um grave cenário de contaminação do meio natural.

Brandenberger *et al.* (2004) avaliaram o legado ambiental de uma mineração de urânio mediante a análise da qualidade das águas de dois lagos localizados nas imediações do empreendimento, sendo um deles o Corpus Christi, nos Estados Unidos, utilizado como principal fonte de abastecimento de uma população de 350 mil pessoas. Contudo, o estudo não constatou evidências de impactos antropogênicos significativos das atividades de mineração além dos observados em escala estritamente local. Ayuso *et al.* (2013) estudaram a Mina de Callahan, situada no litoral dos Estados Unidos, com o intuito de delinear a extensão de uma possível contaminação, tendo em vista que a cava é inundada diariamente pelas marés desde o ano de 1972, o que possibilitou a oportunidade única de realização de uma investigação científica dos impactos de uma mineração no ambiente estuarino. Os resultados demonstraram que a contaminação é um legado de longo prazo na região.

Shevenell, Connors e Henry (1999) pesquisaram pelo menos dezesseis minas a céu aberto localizadas nos Estados Unidos. Dados analíticos foram combinados com informações geoquímicas para prever se as futuras condições de qualidade das águas dos lagos seriam prejudiciais ou favoráveis aos usos pretendidos. A pesquisa comprovou que as cavas apresentavam qualidade hídrica satisfatória, com potencial hidrogeniônico (pH) neutro e baixas concentrações de metais, embora temporalmente pudessem ser esperadas elevações das concentrações dessas substâncias na maioria delas, principalmente devido às características geológicas, hidrológicas e climáticas locais, fatores dominantes da evolução química das águas.

A qualidade hídrica de sete cavas estadunidenses foi comparada com a de dois lagos naturais (Pyramid e Walker) por Shevenell (2000). O trabalho demonstrou que, apesar de a qualidade hídrica das cavas ser aceitável, com pH quase neutro, também deveriam ser esperadas elevações temporais de alguns parâmetros devido a processos de evapoconcentração, embora futuros usos recreativos e até ambientais pudessem ser pensados para o local. Pesquisa semelhante foi desenvolvida por Gammons *et al.* (2013) na Mina Calvert, nos Estados Unidos, fechada na década de 1970 após anos de exploração de tungstênio e posteriormente inundada para formar um lago. Em virtude da boa qualidade de suas águas, explicada principalmente pelas condições geológicas favoráveis da área, como escassez de minerais sulfetados, os pesquisadores concluíram que a cava poderia ser utilizada para finalidades mais exigentes, como a criação de peixes.

Mollema *et al.* (2015) buscaram identificar a origem dos processos que conduziam à elevação das concentrações de metais nos sedimentos do Lago Lange Vlieter, nos Países Baixos, utilizado para acúmulo de água potável. É sabido que sedimentos acumulam os elementos químicos presentes no entorno de cavas, sendo que, quando ocorre a desestratificação térmica da água, contaminantes depositados no fundo, originalmente em condições de equilíbrio, tendem a ser disponibilizados na coluna hídrica. Apesar das vantagens, principalmente econômicas, que justificavam a escolha do referido lago como alternativa de abastecimento, como sua pré-existência e a distância relativamente pequena para o transporte da água, o estudo alertou para o fato de que cavas tendem a se tornar pontos de acumulação de metais, o que prejudica usos futuros e torna necessária a realização de uma gestão ambiental eficiente, visando à garantia temporal da qualidade hídrica.

Apenas dois trabalhos sobre cavas brasileiras foram identificados. O primeiro, desenvolvido por Marques *et al.* (2012), avaliou a influência química sazonal das águas de quatro lagos artificiais sobre a qualidade hídrica subterrânea da bacia sedimentar da região de Sepetiba, no Rio de Janeiro/RJ, importante fonte de extração de areia para a construção civil do estado e, reconhecidamente, o principal passivo ambiental da região. Os lagos apresentaram águas ácidas e ricas em alumínio, com potencial de limitação do desenvolvimento de possíveis atividades de aquicultura após o término da exploração mineral e de prejuízo dos usos da água subterrânea, importante recurso de abastecimento público local. Os processos de mineração de areia, associados à pluviosidade regional, foram apontados como os principais fatores de alteração da qualidade hídrica. Com abordagem um pouco diferenciada, o segundo estudo desenvolvido no Brasil foi realizado por Ferrari *et al.* (2015), que pesquisaram o recém-formado Lago Osamu Utsumi, localizado em Poços de Caldas/MG, onde era extraído urânio. A pesquisa consistiu na caracterização da composição química e da comunidade zooplanctônica daquele ambiente, tendo apresentado como uma das suas principais conclusões a necessidade de realização de testes ecotoxicológicos para avaliação dos efeitos de estressores químicos sobre organismos-teste identificados.

Além dos aspectos geoquímicos propriamente ditos, diversos autores destacam a relevância das influências sazonais nas concentrações de elementos potencialmente tóxicos em cavas, fato que os levou a alertar sobre a importância de considerar esses efeitos durante o planejamento do uso do solo nas regiões afetadas. Na grande maioria dos trabalhos, a qualidade ambiental das cavas se mostrou mais comprometida durante o período de estiagem devido a processos de evapoconcentração.

Impactos ambientais de lagos de mineração também foram analisados por pesquisadores com o objetivo de estabelecer uma base de informações para o desenvolvimento de ações de planejamento ambiental visando não somente à proteção do meio natural, mas também à utilização antrópica da água (HANGEN-BRODERSEN; STREMPER; GRÜNEWALD, 2005; JHANWAR, 1996; MONJEZI *et al.*, 2009; RAMALHO *et al.*, 2009; SÁNCHEZ-ESPAÑA *et al.*, 2014). Hangen-Brodersen, Stremper e Grunewald (2005), por exemplo, comprovaram ser fundamental um amplo monitoramento hídrico para que se obtenha maior grau de compreensão das complexas interações ambientais que ocorrem nesses ambientes. De forma semelhante, Sánchez-España *et al.* (2014), ao estudarem o comportamento de um sistema de minas da Espanha, salientaram que a concepção de planos de fechamento de minas é fator determinante para a previsão da futura qualidade hídrica de cavas e, conseqüentemente, para a definição dos usos hídricos pretendidos.

Alguns pesquisadores empreenderam esforços na busca por soluções para os problemas ambientais de cavas visando a usos hídricos futuros: dentre essas soluções se destacam a remoção da acidez e a diminuição das concentrações de elementos químicos potencialmente tóxicos presentes na água (ANTUNES *et al.*, 2016; BOZAU *et al.*, 2007; COSTA; DUARTE, 2005; FYSON; NIXDORF; KALIN, 2006; GELLER *et al.*, 2009; KALIN; WHEELER; OLAVESON, 2006; KUMAR; MCCULLOUGH; LUND, 2011; LEVY *et al.*, 1997; LUEK *et al.*, 2014; VILLAIN; ALAKANGAS; ÖHLANDER, 2013; WENDT-POTTHOFF *et al.*, 2010; WISOTZKY; OBERMANN, 2001). Wisotzky e Obermann (2001), por exemplo, avaliaram a adição de pedra calcária triturada e de uma mistura de calcário e cinzas como alternativa para a redução de efeitos geoquímicos sobre a qualidade das águas de um lago de mineração da Alemanha. Por sua vez, Kalin, Wheeler e Olaveson (2006) pesquisaram a resposta do fitoplâncton à remediação do Lago Boomerang, nos Estados Unidos, que, afetado por drenagens ácidas de mina, foi submetido a sucessivas medidas de recuperação ambiental, devido ao fato de ser interligado ao Lago Confederation, cujas águas, por serem muito utilizadas pela população local para recreação, eram objeto de preocupação quanto à manutenção de sua qualidade.

Também foram utilizados modelos matemáticos de sistemas ambientais para simular futuros comportamentos de lagos de mineração, tendo os estudos contemplado aspectos como hidrodinâmica, estratificação térmica e qualidade hídrica (BALISTRIERI *et al.*, 2006; CASTENDYK; WEBSTER-BROWN, 2007; ERG, 2003; GOLESTANIFAR; AHANGARI, 2012; HAMBLIN; STEVENS; LAWRENCE, 1999; HANCOCK; WRIGHT; DE SILVA, 2005; KOHFAHL; PEKDEGER, 2004; PANILAS; PETALAS; GEMITZI, 2008; PEIFFER, 2016;

RAPANTOVÁ *et al.*, 2012; ROBLES-ARENAS; CANDELA, 2010). Erg (2003), por exemplo, utilizou um modelo conceitual de fluxo de águas subterrâneas para prever possíveis alterações químicas ocasionadas por atividades de mineração que pudessem prejudicar os usos hídricos locais, fontes principais de abastecimento da população do nordeste da Estônia. Apesar das limitações do modelo conceitual concebido para a pesquisa no sentido de prever com segurança o transporte de contaminantes em diferentes cenários, o autor concluiu que o efeito combinado de fatores antrópicos e naturais refletiu na elevação dos teores de sulfato nas águas subterrâneas, tendência que deve perdurar durante anos após o encerramento das atividades de mineração. Por sua vez, Hancock, Wright e De Silva (2005) pesquisaram o balanço de massa para calcular o volume de água de uma mina localizada no Vale Hunter, na Austrália, onde há outras 22 cavas em operação. A pesquisa consistiu no desenvolvimento de simulações de longo prazo a fim de prever riscos associados à qualidade hídrica de minerações a céu aberto e de embasar opções de gestão. Uma das conclusões foi que provavelmente ocorrerá a elevação da salinidade na água da futura cava, o que suscitou dúvidas sobre seus possíveis usos futuros.

Por fim, apesar de raros, alguns estudos foram desenvolvidos com o objetivo de mensurar a toxicidade de elementos existentes em cavas de mineração por meio de análises de seus efeitos sinérgicos sobre organismos-teste, identificando possíveis vias de exposição (ALUMA; HASSETT; JOHNSON, 2011; ANTUNES *et al.*, 2007; GAGNAIRE *et al.*, 2015; HERLORY *et al.*, 2013; NEIL *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2011; ROZON-RAMILO *et al.*, 2011; SKIPPERUD *et al.*, 2013). A biomagnificação de contaminantes advindos de uma mina de urânio, por exemplo, foi pesquisada por Skipperud *et al.* (2013) mediante a análise histológica de órgãos específicos de peixes expostos às águas de uma antiga mina do Tajiquistão, que, utilizada pelo programa de armas nucleares da União Soviética, gerou cerca de 35 milhões de metros cúbicos de resíduos radioativos, o que levou à formação de um grande lago artificial onde foram introduzidos peixes para consumo da população local. Além de exemplares da ictiofauna, outros organismos locais foram capturados para análise, como caracóis e musgos. Os autores comprovaram concentrações alarmantes de contaminantes nas espécies estudadas.

CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA EMBASAMENTO DA ESCOLHA DE CAVAS DE MINERAÇÃO COMO ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO HÍDRICO

Os trabalhos publicados internacionalmente ao longo de quase quatro décadas que embasaram a elaboração deste artigo demonstram a importância de serem promovidas avaliações criteriosas das condições ambientais de águas de cavas como fontes potenciais de abastecimento público, pois são unidades que tendem a apresentar variabilidade de diversos aspectos notadamente associados a: (1) mecanismos de condicionamento geológico (interação rocha-água-ar); (2) processos de evapoconcentração; (3) sazonalidade e (4) tempo. Sedimentos também se destacam nesse contexto, pois, em geral, são constituídos de substâncias perigosas que podem ser

disponibilizadas na coluna hídrica. Adicionalmente, não se observou uma única cava no universo dos trabalhos analisados que tenha apresentado concentrações de apenas um elemento químico de interesse ambiental; ao contrário, normalmente a análise de suas águas acusa a presença de diversos elementos de risco, como metais. Finalmente, vários estudos indicaram que podem ser necessários muitos anos até que cavas se estabilizem quimicamente a ponto de serem pleiteadas para algum uso hídrico mais nobre.

A experiência acumulada até então denota o consenso entre os pesquisadores de que lagos de mineração são unidades cujas águas apresentam comportamento complexo, demandando atenção especial, principalmente quando o objetivo é implementar aproveitamentos hídricos selecionados. Portanto, a gestão desses lagos artificiais se mostra desafiadora quando comparada à de outros recursos naturais utilizados para a mesma finalidade, como águas superficiais ou subterrâneas, cujo gerenciamento pode ser desenvolvido com base em padrões metodológicos tradicionais de controle e monitoramento ambiental. No caso em tela, a grande questão é definir quais critérios devem ser levados em conta quando o objetivo é obter respostas suficientemente seguras para embasar tomadas de decisão.

Em se tratando do estabelecimento de métodos de avaliação ambiental, verificou-se que a maioria dos pesquisadores optou pela tradicional abordagem química. Contudo, embora necessárias, análises dessa natureza se mostram limitadas, pois retratam apenas estados momentâneos de qualidade ambiental, não sendo capazes de mensurar os possíveis efeitos da ação biológica de contaminantes de interesse sobre organismos específicos, por exemplo. Assim, considerando o grau de complexidade dos impactos ambientais de cavas, muitas vezes a simples determinação analítica pode não ser suficiente para possibilitar conclusões mais amplas. Ademais, ainda que as concentrações de determinados analitos se apresentem inferiores aos valores legais máximos permitidos, seus efeitos tóxicos combinados podem resultar em prejuízos ambientais significativos quando as substâncias interagem sinergicamente entre si na coluna d'água.

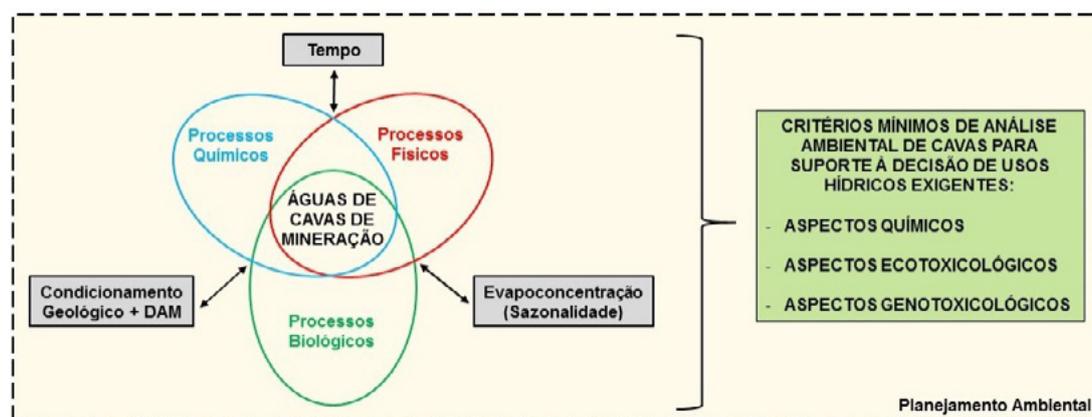
Indubitavelmente, dado o grau de qualidade hídrica necessário para fins de abastecimento público e a reconhecida instabilidade qualitativa de águas de cavas, os aspectos ambientais dessas unidades devem ser analisados de forma ampliada, sob pena de colocar em risco a saúde pública ou de encarecer desnecessariamente os processos de tratamento. Um exemplo de análise sistêmica com vistas à obtenção de respostas mais seguras a esse respeito é a integração de aspectos da Química e da Ecotoxicologia, duas ciências que se complementam. Nesse sentido, sabe-se que estudos ecotoxicológicos agregam mais elementos às avaliações ambientais, pois permitem mensurar os efeitos deletérios potenciais de diversas substâncias sobre o comportamento de organismos-teste padronizados, mediante exposições agudas ou crônicas. Além disso, é possível avaliar a evolução temporal dos efeitos tóxicos de determinados elementos químicos de interesse sobre espécimes expostos, objetivando conhecer a partir de quando os efeitos deletérios potenciais começam a se manifestar. Todavia, apesar de as duas áreas do

conhecimento se encontrarem consolidadas há décadas, o presente levantamento demonstrou que ainda são raros trabalhos que tenham esse enfoque metodológico.

Não obstante o exposto, considerando que as substâncias químicas presentes em cavas podem manifestar seus efeitos de forma discreta, a ponto de não serem perceptíveis em ensaios ecotoxicológicos, entende-se que os princípios da Genotoxicologia Ambiental também devem ser empregados nas análises, pois possibilitam o desenvolvimento de abordagens capazes de detectar alterações genéticas nos organismos expostos.

Embora ainda não exista consenso entre os pesquisadores sobre o estabelecimento de métodos de análise ambiental de cavas de mineração que embasem decisões a respeito de usos hídricos exigentes com a devida segurança, parece minimamente razoável que a compreensão do comportamento desses lagos afetados por uma gama de processos químicos, físicos e biológicos deve estar fundamentada na integração de aspectos da Química, da Ecotoxicologia e da Genotoxicologia. Nesse sentido, em termos de planejamento ambiental, é fundamental que as análises sejam realizadas considerando correlações com, pelo menos, os seguintes fatores dominantes da evolução química da qualidade das águas de cavas: condicionamento geológico (DAM), sazonalidade (evapoconcentração) e tempo (qualidade hídrica atual e futura), como demonstra a Figura 4.

FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA COMPLEXIDADE AMBIENTAL DAS CAVAS DE MINERAÇÃO E DOS CRITÉRIOS MÍNIMOS DE ANÁLISE AMBIENTAL DE SUAS ÁGUAS PARA USOS HÍDRICOS EXIGENTES



Fonte: Elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho foi traçar um panorama acerca da avaliação ambiental das águas de lagos de mineração pela comunidade científica internacional, principalmente no sentido de analisar o potencial de cavas como fontes alternativas de abastecimento público. O tema em si é novo em praticamente todo o mundo, porém no Brasil os desafios gerenciais dessas unidades de origem antrópica são elevados, pois esbarram na quase completa inexistência de informações básicas. Até então,

sabe-se que lagos de mineração são ambientalmente complexos e demandam medidas gerenciais diferenciadas na busca pela sustentabilidade. Seus impactos se destacam dentre aqueles tradicionalmente desencadeados pelas demais atividades humanas, já que devem ser compreendidos pela perspectiva do sinergismo de processos químicos, físicos e biológicos associados a fatores dominantes da evolução da química hídrica, como condicionamento geológico, sazonalidade e tempo. Portanto, exigem um enfoque gerencial específico que deve ir além de abordagens científicas isoladas.

No caso do uso de lagos de mineração para abastecimento público, embora existam vantagens do ponto de vista ambiental, social e econômico, a avaliação das reais condições das suas águas para esse fim precisa ser suficientemente ampla, abrangendo aspectos que possibilitem a tomada de decisões seguras por parte dos gestores, uma vez que nem sempre as condições de qualidade hídrica são satisfatórias para apoiar usos tão exigentes. Nesse sentido, avaliações integradas de aspectos químicos, ecotoxicológicos e genotoxicológicos podem ser desenvolvidas de modo a viabilizar respostas que vão além das concepções tradicionais de controle e monitoramento ambiental. Sem dúvida, arranjos metodológicos com esse enfoque representam um dos caminhos a serem trilhados na busca por soluções que exigem níveis de conhecimento ambiental mais profundos, como no caso de cavas.

REFERÊNCIAS

- ALUMA, Ebenezer; HASSETT, R. Patrick; JOHNSON, Kelly. Short communication: a 24 hour ecotoxicity test for acid mine drainage using hatching success in *Daphnia magna*. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, Port Harcourt, v. 15, n. 1, p. 231–234, 2011.
- ANTUNES, Margarida H. R.; GOMES, Maria E.P.; NEIVA, Ana M. R.; CARVALHO, Paula C.S.; SANTOS, António C.T. Potential risk assessment in stream sediments, soils and waters after remediation in an abandoned W4Sn mine (NE Portugal). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Amsterdam, v. 133, p. 135–145, 2016.
- ANTUNES, Sara C.; DE FIGUEIREDO, Daniela R.; MARQUES, Sérgio M.; CASTRO, Bruno B.; PEREIRA, Ruth; GONÇALVES, Fernando. Evaluation of water column and sediment toxicity from an abandoned uranium mine using a battery of bioassays. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 374, n. 2-3, p. 252–259, 2007.
- AYUSO, Robert A.; FOLEY, Nora K.; SEAL II, Robert R.; BOVE, Marianna; CIVITILLO, Diego; COSENZA, Antonio; GREZZI, Giuseppe. Lead isotope evidence for metal dispersal at the Callahan Cu-Zn-Pb mine: goose pond tidal estuary, Maine, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 126–127, p. 1–22, 2013.
- BALISTRIERI, Lisa S.; TEMPEL, Regina N.; STILLINGS, Lisa L.; SHEVENELL, Lisa A. Modeling spatial and temporal variations in the temperature and salinity during stratification and overturn in Dexter pit lake, Tuscarora, Nevada, USA. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 21, n. 7, p. 1184–1203, 2006.
- BOWELL, Rob J.; PARSHLEY, Jeff V. Control of pit-lake water chemistry by secondary minerals, Summer Camp pit, Getchell mine, Nevada. *Chemical Geology*, Amsterdam, v. 215, n. 1, p. 373–385, 2005.

- BOZAU, Elke; BECHSTEDT, Tina; FRIESE, Kurt; FRÖMMICHEN, René; HERZSPRUNG, Peter; KOSCHORRECK, Matthias; MEIER, Jutta; VÖLKNER, Corinna; WENDT-POTTHOFF, Katrin; WIEPRECHT, Martin; GELLER, Walter. Biotechnological remediation of an acidic pit lake: modelling the basic processes in a mesocosm experiment. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 212-221, 2007.
- BRANDENBERGER, Jill; LOUCHOUARN, Patrick; HERBERT, Bruce; TISSOT, Philippe. Geochemical and hydrodynamic controls on arsenic and trace metal cycling in a seasonally stratified US sub-tropical reservoir. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 19, n. 10, p. 1601-1623, 2004.
- CÁNOVAS, Carlos R.; PEIFFER, Stefan; MACÍAS, Francisco; OLÍAS, Manuel; NIETO, Jose M. Geochemical processes in a highly acidic pit lake of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Chemical Geology*, Amsterdam, v. 395, p. 144-153, 2015.
- CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). *Portal de periódicos Capes/MEC*. Disponível em: <http://www-periodicos-capes-gov-br.ez49.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- CASTENDYK, Devin N.; MAUK, Jeffrey L.; WEBSTER, Jenny G. A mineral quantification method for wall rocks at open pit mines, and application to the Martha Au-Ag mine, Waihi, New Zealand. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 135-156, 2005.
- CASTENDYK, Devin N.; WEBSTER-BROWN, Jenny G. Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha mine, New Zealand 2: geochemistry, water-rock reactions, and surface adsorption. *Chemical Geology*, Amsterdam, v. 244, n. 1, p. 56-73, 2007.
- ÇOLAK, Mümtaz; GEMICI, Ünsal; TARCAN, Gültekin. The effects of colemanite deposits on the arsenic concentrations of soil and groundwater in Igdeköy-Emet, Kütahya, Turkey. *Water, Air and Soil Pollution*, Berlin, v. 149, n. 1, p. 127-143, 2003.
- COSTA, Maria C.; DUARTE, José C. Bioremediation of acid mine drainage using acidic soil and organic wastes for promoting sulphate-reducing bacteria activity on a column reactor. *Water, Air and Soil Pollution*, Berlin, v. 165, n. 1, p. 325-345, 2005.
- CZOP, Mariusz; MOTYKA, Jacek; SRACEK, Ondra; SZUWARZYNSKI, Marek. Geochemistry of the hyperalkaline Gorka pit lake (pH>13) in the Chrzanow region, southern Poland. *Water, Air and Soil Pollution*, Berlin, v. 214, n. 1, p. 423-434, 2011.
- DAVIS, Andy; ASHENBERG, Daniel. The aqueous geochemistry of the Berkeley Pit, Butte, Montana, USA. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 4, n. 1, p. 23-36, 1989.
- DELGADO-MARTIN, Jordi; JUNCOSA-RIVERA, Ricardo; FALCÓN-SUÁREZ, Ismael; CANAL-VILA, Jacobo. Four years of continuous monitoring of the Meirama end-pit lake and its impact in the definition of future uses. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 20, n. 11, p. 1610-1618, 2013.
- DENIMAL, Sophie; BERTRAND, Catherine; MUDRY, Jacques; PAQUETTE, Yves; HOCHART, Magalie; STEINMANN, Marc. Evolution of the aqueous geochemistry of mine pit lakes: Blanzy-Montceau-les-Mines coal basin (Massif Central, France): origin of sulfate contents; effects of stratification on water quality. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 20, p. 1113-1128, 2005.
- EDBERG, Frida; ANDERSON, Anders F.; HOLMSTRÖM, Sara J. M. Bacterial community composition in the water column of a lake formed by a former uranium open pit mine. *Microbial Ecology*, Berlin, v. 64, n. 4, p. 870-880, 2012.
- ERG, Katrin. Sulphate balance of lakes and shallow groundwater in the Vasavere buried

- valley, Northeast Estonia. *Oil Shale*, v. 20, n. 4, p. 477–489, 2003.
- FERRARI, Carla R.; AZEVEDO, Heliana; WISNIEWSKI, Maria J. S.; RODGHER, Suzelei; ROQUE, Cláudio V.; NASCIMENTO, Marcos R.L. An overview of an acidic uranium mine pit lake (Caldas, Brazil): composition of the zooplankton community and limnochemical aspects. *Mine Water and the Environment*, Berlin, v. 34, n. 3, p. 230–242, 2015.
- FYSON, Andrew; NIXDORF, Brigitte; KALIN, Margarete. The acidic lignite pit lakes of Germany – microcosm experiments on acidity removal through controlled eutrophication. *Ecological Engineering*, v. 28, n. 3, p. 288–295, 2006.
- GAGNAIRE, Béatrice; BADO-NILLES, Anne; BETOULLE, Stéphane; AMARA, Rachid; CAMILLERI, Virginie; CAVALIÉ, Isabelle; CHADILI, Edith; DELAHAUT, Laurence; KERAMBRUN, Elodie; ORJOLLET, Daniel; PALLUEL, Olivier; SANCHEZ, Wilfried. Former uranium mine-induced effects in caged roach: a multiparametric approach for the evaluation on in situ metal toxicity. *Ecotoxicology*, Berlin, v. 24, n. 1, p. 215–231, 2015.
- GAMMONS, Christopher H.; PAPE, Barbara L.; PARKER, Steve R.; POULSON, Simon R.; BLANK, Carrine E. Geochemistry, water balance, and stable isotopes of a “clean” pit lake at an abandoned tungsten mine, Montana, USA. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 36, p. 57–69, 2013.
- GELLER, Walter; KOSCHORRECK, Matthias; WENDT-POTTHOFF, Katrin; BOZAU, Elke; HERZSPRUNG, Peter; BÜTTNER, Olaf; SCHULTZE, Martin. A pilot-scale field experiment for the microbial neutralization of a holomictic acidic pit lake. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 100, n. 2–3, p. 153–159, 2009.
- GOLESTANIFAR, Mojtaba; AHANGARI, Kaveh. Choosing an optimal groundwater lowering technique for open pit mines. *Mine Water and the Environment*, v. 31, n. 3, p. 192–198, 2012.
- GRANDE, José A.; VALENTE, Teresa; DE LA TORRE, María L.; SANTISTEBAN, María; CERÓN, Juan C.; PÉREZ-OSTALÉ, Eva. Characterization of acid mine drainage sources in the Iberian Pyrite Belt: base methodology for quantifying affected areas and for environmental management. *Environmental Earth Science*, Berlin, v. 71, n. 6, p. 2729–2738, 2014.
- HAMBLIN, Paul F.; STEVENS, Craig L.; LAWRENCE, Greg A. Simulation of vertical transport in mining pit lake. *Journal of Hydraulic Engineering*, New York, v. 125, n. 10, p. 1029–1038, 1999.
- HANCOCK, Gregory R.; WRIGHT, Alison; DE SILVA, H. Long-term final void salinity prediction for a post-mining landscape in the Hunter Valley, New South Wales, Australia. *Hydrological Processes*, Hoboken, v. 19, n. 2, p. 387–401, 2005.
- HANGEN-BRODERSEN, Christine; STREMPPEL, Petra; GRÜNEWALD, Uwe. Characteristics of catchments disturbed by lignite mining: case study of Schlabendorff/Seese, Germany. *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 37–48, 2005.
- HERLORY, Olivier; BONZOM, Jean-Marc; GILBIN, Rodolphe; FRELON, Sandrine; FAYOLLE, Stéphanie; DELMAS, François; COSTE, Michel. Use of diatom assemblages as biomonitors of the impact of treated uranium mining effluent discharge on a stream: case study of the Ritord watershed (Center-West France). *Ecotoxicology*, Berlin, v. 22, n. 8, p. 1186–1199, 2013.
- HERZSPRUNG, Peter; DUFFEK, Anja; FRIESE, Kurt; RECHTER, M.; SCHULTZE, Martin; TÜMPLING JUNIOR, Wolf V. Modification of a continuous flow method for analysis of trace

- amounts of nitrate in iron-rich sediment pore-waters of mine pit lakes. *Water Research*, Amsterdam, v. 39, n. 9, p. 1887–1895, 2005.
- HRDINKA, Tomás; SOBR, Miroslav; FOTT, Jan; NEDBALOVÁ, Linda. The unique environment of the most acidified permanently meromictic lake in the Czech Republic. *Limnologica*, Amsterdam, v. 43, n. 6, p. 417–426, 2013.
- JHANWAR, M.L. Application of remote sensing for environmental monitoring in Bijolia mining area of Rajasthan. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Berlin, v. 24, p. 255–264, 1996.
- KALIN, Margarete; WHEELER, William N.; OLAVESON, Mary M. Response of phytoplankton to ecological engineering remediation of a Canadian shield lake affected by acid mine drainage. *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 28, n. 3, p. 296–310, 2006.
- KOHFAHL, Claus; PEKDEGER, Asaf. Modeling the long-term release of sulphate from dump sediments of an abandoned open pit lignite lake. *Mine Water and the Environment*, v. 23, n. 1, p. 12–19, 2004.
- KOSCHORRECK, Matthias; WENDT-POTTHOFF, Katrin. A sediment exchange experiment to assess the limiting factors of microbial sulfate reduction in acidic mine pit lakes. *Journal of Soils and Sediments*, Berlin, v. 12, n. 10, p. 1615–1622, 2012.
- KUMAR, R. Naresh; MCCULLOUGH, Cherie D.; LUND, Mark A. How does storage affect the quality and quantity of organic carbon in sewage for use in the bioremediation of acidic mine waters? *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 37, n. 8, p. 1205–1213, 2011.
- LEVY, David B.; CUSTIS, Kit H.; CASEY, William H.; ROCK, Peter A. A comparison of metal attenuation in mine residue and overburden material from an abandoned copper mine. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 12, n. 2, p. 203–211, 1997.
- LOPES, Luciano M.N. O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. *Sinapse Múltipla*, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 1–14, 2016.
- LOTTERMOSER, Bernd G.; ASHLEY, Paul M.; COSTELLOE, Michael T. Contaminant dispersion at the rehabilitated Mary Kathleen uranium mine, Australia. *Environmental Geology*, Berlin, v. 48, n. 6, p. 748–761, 2005.
- LUEK, Andreas; BROCK, Curtis; ROWAN, David J.; RASMUSSEN, Joseph B. A simplified anaerobic bioreactor for the treatment of selenium-laden discharges from non-acidic, end-pit lakes. *Mine Water and the Environment*, Berlin, v. 33, n. 4, p. 295–306, 2014.
- MARQUES, Eduardo D.; TUBBS, Décio; GOMES, Olga V.O.; SILVA-FILHO, Emmanoel V. Influence of acid sand pit lakes in surrounding groundwater chemistry, Sepetiba sedimentary basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 112, p. 306–321, 2012.
- MELLO, Jaime W.V.; DUARTE, Hélio A.; LADEIRA, Ana C.Q. Origem e controle do fenômeno Drenagem Ácida de Mina. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, São Paulo, n. 8, p. 24–29, 2014.
- MIGASZEWSKI, Zdzislaw M.; GALUSZKA, Agnieszka; HALAS, Stan; DOLEGOWSKA, Sabina; DABEK, Jozef; STARNAWSKA, Ewa. Geochemistry and stable sulfur and oxygen isotope ratios of the Podwisniówka pit pond water generated by acid mine drainage (Holy Cross Mountains, south-central Poland). *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 23, n. 12, p. 3620–3634, 2008.
- MILLU, Viotica; LEROY, Jacques L.; PEIFFERT, Chantal. Water contamination downstream from a copper mine in the Apuseni

- Mountains, Romania. *Environmental Geology*, Berlin, v. 42, n. 7, p. 773–782, 2002.
- MINERADORA diz que não sabe as causas do rompimento de barragens em Minas. *Folha Vitória*, 6 nov. 2015. Disponível: <http://www.folhavoria.com.br/geral/noticia/2015/11/mineradora-diz-que-nao-sabe-as-causas-do-rompimento-de-barragens-em-minas.html>. Acesso em: 29 jan. 2018.
- MPMG (Ministério Público do Estado de Minas Gerais). *Guia técnico para atuação do Ministério Público no licenciamento ambiental de atividades de mineração*. Belo Horizonte: MPMG, 2012.
- MOLLEMA, Pauline N.; STUYFZAND, Pieter J.; JUHÁSZ-HOLTERMAN, Maria H.A.; VAN DIEPENBEEK, Peter M.J.A.; ANTONELLINI, Marco. Metal accumulation in an artificially recharged gravel pit lake used for drinking water supply. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 150, p. 35–51, 2015.
- MONJEZI, Masoud; SHAHRIAR, Kourosh; DEGHANI, Hesam; NAMIN, Farhad S. Environmental impact assessment of open pit mining in Iran. *Environmental Geology*, Berlin, v. 58, n. 1, p. 205–216, 2009.
- MOSER, Michael; WEISSE, Thomas. The most acidified Austrian lake in comparison to a neutralized mining lake. *Limnologia*, Amsterdam, v. 41, n. 4, p. 303–315, 2011.
- NEIL, Luke L.; MCCULLOUGH, Cherie D.; LUND, Mark A.; EVANS, Louis H.; TSVETNENKO, Yuri. Toxicity of acid mine pit lake water remediated with limestone and phosphorus. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Amsterdam, v. 72, n. 8, p. 2046–2057, 2009.
- PANILAS, Sotiris; PETALAS, Christos; GEMITZI, Alexandra. The possible hydrologic effects of the proposed lignite open-cast mining in Drama lignite field, Greece. *Hydrological Processes*, Hoboken, v. 22, n. 11, p. 1604–1617, 2008.
- PEIFFER, Stefan. Reaction time scales for sulphate reduction in sediments of acidic pit lakes and its relation to in-lake acidity neutralization. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 73, p. 8–12, 2016.
- PELLICORI, Damon A.; GAMMONS, Christopher H.; POULSON, Simon R. Geochemistry and stable isotope composition of the Berkeley pit lake and surrounding mine Waters, Butte, Montana. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 20, n. 11, p. 2116–2137, 2005.
- POERSCHMANN, Juergen; KOSCHORRECK, Matthias; GÓRECKI, Tadeusz. Organic matter in sediments of an acidic mining lake as assessed by lipid analysis: part I: fatty acids. *Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 414, p. 614–623, 2012.
- RAMALHO, Elsa; CARVALHO, João; BARBOSA, Sofia; SANTOS, Fernando A.M. Using geophysical methods to characterize an abandoned uranium mining site, Portugal. *Journal of Applied Geophysics*, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 14–33, 2009.
- RAMSTEDT, Madeleine; CARLSSON, Erik; LÖVGREN, Lars. Aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 18, p. 97–108, 2003.
- RAPANTOVÁ, Nad'a; KRZESZOWSKI, Swiatoslaw; GRMELA, Arnost; WOLKERSDORFER, Christian. Quantitative assessment of mine water resources based on the general mixing equation and multivariate statistics. *Mine Water and the Environment*, Berlin, v. 31, n. 4, p. 252–265, 2012.
- ROBLES-ARENAS, Virginia M.; CANDELA, Lucila. Hydrological conceptual model characterization of an abandoned mine site in semiarid climate: the Sierra de Cartagena-La Unión (SE Spain). *Geologica Acta*, Barcelona, v. 8, n. 3, p. 235–248, 2010.

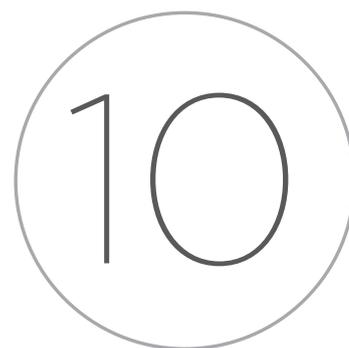
- ROCHA, Luciana; RODRIGUES, Sónia M.; LOPES, Isabel; SOARES, Amadeu M. V. M.; DUARTE, Armando C.; PEREIRA, Eliana. The water-soluble fraction of potentially toxic elements in contaminated soils: relationships between ecotoxicity, solubility and geochemical reactivity. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 84, n. 10, p. 1495–1505, 2011.
- ROZON-RAMILO, Lisa D.; DUBÉ, Monique G.; RICKWOOD, Carrie J.; NIYOGI, Som. Examining the effects of metal mining mixtures on fathead minnow (*Pimephales promelas*) using field-based multi-trophic artificial streams. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Amsterdam, v. 74, n. 6, p. 1536–1547, 2011.
- SÁNCHEZ-ESPAÑA, Javier; ERCILLA, Marta D.; CERDÁN, Fernando P.; YUSTA, Iñaki; BOYCE, Adrian J. Hydrological investigation of a multi-stratified pit lake using radioactive and stable isotopes combined with hydro-metric monitoring. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 511, p. 494–508, 2014.
- SÁNCHEZ-ESPAÑA, Javier; PAMO, Enrique L.; PASTOR, Esther S.; ERCILLA, Marta D. The acidic mine pit lakes of the Iberian Pyrite Belt: an approach to their physical limnology and hydrogeochemistry. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 23, p. 1260–1287, 2008.
- SANTOFIMIA, Esther; LÓPEZ-PAMO, Enrique; REYES, Jesús. Changes in stratification and iron redox cycle of an acidic pit lake relation with climatic factors and physical processes. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 116–117, p. 40–50, 2012.
- SCHULTZE, Martin; POKRANDT, Karl-Heinz; HILLE, Wolfram. Pit lakes of the central German lignite mining district: creation, morphometry and water quality aspects. *Limnologica*, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 148–155, 2010.
- SHEVENELL, Lisa; CONNORS, Katherine A.; HENRY, Christopher D. Controls on pit lake water quality at sixteen open-pit mines in Nevada. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 14, n. 5, p. 669–687, 1999.
- SHEVENELL, Lisa A. Water quality in pit lakes in disseminated gold deposits compared to two natural, terminal lakes in Nevada. *Environmental Geology*, Berlin, v. 39, n. 7, p. 807–815, 2000.
- SKIPPERUD, Lindis; JØRGENSEN, A.G.; HEIER, Lene S.; SALBU, Brit; ROSSELAND, Bjorn O. Po-210 and Pb-210 in water and fish Taboshar uranium mining pit lake, Tajikistan. *Journal of Environmental Radioactivity*, Amsterdam, v. 123, p. 82–89, 2013.
- TRIANAFYLLIDIS, Stavros; SKARPELIS, Nikos. Mineral formation in an acid pit lake from a high-sulfidation ore deposit: Kirki, NE Greece. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 88, n. 1, p. 68–71, 2006.
- VILLAIN, Lucile; ALAKANGAS, Lena; ÖHLANDER, Björn. The effects of backfilling and sealing the waste rock on water quality at the Kimheden open-pit mine, northern Sweden. *Journal of Geochemical Exploration*, Amsterdam, v. 134, p. 99–110, 2013.
- WENDT-POTTHOFF, Katrin; BOZAU, Elke; FRÖMMICHEN, René; MEIER, Jutta; KOSCHORRECK, Matthias. Microbial iron reduction during passive in situ remediation of an acidic mine pit lake mesocosm. *Limnologica*, Amsterdam, v. 40, n. 2, p. 175–181, 2010.
- WISOTZKY, Frank; OBERMANN, Peter. Acid mine groundwater in lignite overburden dumps and its prevention – the Rhineland lignite mining area (Germany). *Ecological Engineering*, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 115–123, 2001.
- YUCEL, Deniz S.; BABA, Alper. Geochemical characterization of acid mine lakes in northwest Turkey and their effect on the environment. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Berlin, v. 64, n. 3, p. 357–376, 2013.



Produção sustentável

10. A INTERVENÇÃO SOCIAL DE UM NÚCLEO DE PESQUISAS E ESTUDOS DO IFG EM UMA COMUNIDADE DE AGRICULTORES FAMILIARES EM SITUAÇÕES DE RISCO PELO USO DE AGROTÓXICOS
11. CONHECER AS PERCEPÇÕES, OS VALORES E AS DIFICULDADES DE UMA COLETA SELETIVA DE LIXO NO MUNICÍPIO DE INHUMAS/GO
12. PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA
13. USO DO SOLO E RECURSOS HÍDRICOS: BUSCANDO ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS DE MANEJO
14. MODELO CONSTRUTIVO COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE

A intervenção social de um núcleo de pesquisas e estudos do IFG em uma comunidade de agricultores familiares em situações de risco pelo uso de agrotóxicos



ALESSANDRO SILVA DE OLIVEIRA

O presente artigo tem por base a sinergia entre investigação e ação desenvolvidas pelo Núcleo de Pesquisas e Estudos na Formação Docente e Educação Ambiental¹ com uma comunidade de agricultura familiar localizada em um distrito do município de Anápolis/GO, o que constitui os primeiros passos de uma pesquisa-ação com pequenos produtores rurais em situações de risco pelo uso de agrotóxicos. Toda a atividade investigativa foi realizada na comunidade, com a presença dos lavradores, e na escola rural destinada às crianças.

Os dilemas socioambientais são temas de discussão e análise do Núcleo. Quando focamos nossa atenção no entorno da cidade de Anápolis, deparamo-nos com trabalhadores em situações de risco, o que nos levou a interagir com eles. Constatamos elevados índices de câncer na localidade pela consulta aos dados do departamento de informática do Sistema Único de Saúde (SUS) do Brasil (Datusus²). Também constatamos a presença de crianças e adolescentes trabalhando na lavoura e o manejo inadequado e indiscriminado de agrotóxicos, venenos proibidos, falta de equipamentos de proteção individual (EPI), ficando evidente o desconhecimento dos trabalhadores sobre os produtos utilizados e o correto manuseio deles.

1 O Núcleo de Pesquisa e Estudos na Formação Docente e Educação Ambiental com sede no IFG/Câmpus Anápolis é cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) desde 2014. Nesse núcleo, que é integrado por professores de diversas áreas de conhecimento e por alunos dos cursos de Licenciatura em Química e de Ciências Sociais, as atividades de estudos e pesquisas são desenvolvidas em colaboração mútua entre os participantes.

2 Datusus é o departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil. Trata-se do órgão da Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa do Ministério da Saúde que tem como responsabilidade coletar, processar e fornecer informações sobre saúde.

A proposta do Núcleo é a formação de professores com engajamento nas questões socioambientais. Dessa forma, procuramos conhecer e/ou reconhecer o contexto social daqueles agricultores e intervir nas situações de risco por meio do desenvolvimento de ações planejadas e executadas pelos alunos da Licenciatura em Química e professores envolvidos no projeto. Assumimos, assim, a necessidade de uma perspectiva crítica da educação ambiental para fortalecimento dos sujeitos. Os pressupostos teóricos, que serão delineados no corpo deste texto, guiam nossas reflexões. É importante destacar que essa pesquisa, que visa a construção de um quadro de redução do risco à vida em consequência do uso de agrotóxicos, ocorre em um contexto empírico, caracterizado pela interação entre agricultores e estudantes-pesquisadores.

A pesquisa nos permite fazer algumas inferências, principalmente em relação ao contexto socioambiental dos produtores rurais, as quais apresentaremos neste texto. Para isso, organizamos o texto em três seções: a apresentação dos aspectos teóricos que fundamentam a pesquisa-ação; a elucidação analítica do contexto socioambiental dos agricultores e ações dos estudantes até o presente momento e, por último, as reflexões e conclusões. Nessa sequência, expomos as experiências e reflexões que surgiram dos primeiros contatos de intervenção do Núcleo com os agricultores familiares.

A EDUCAÇÃO AMBIENTAL CRÍTICA NO FORTALECIMENTO DOS SUJEITOS

No campo da educação ambiental, é oportuno lembrar que, em sua concepção, prevalece uma polissemia³, que vai desde a transmissão de informações sobre o ambiente natural à dialética das relações humanas. Dessa polissemia emerge a heterogeneidade de intenções que resultam em perspectivas ideológicas variadas (CARVALHO, 2012; LOUREIRO, 2012; SAUVÉ, 2005a, 2005b). Nos discursos desse campo, predomina, de modo geral, uma forte tendência às abordagens sobre os componentes naturais e a poluição. Com isso, prevalece a ênfase nas características biológicas e físico-químicas da degradação ambiental, que são privilegiadas em detrimento das dimensões política, social e econômica do meio ambiente.

Conceber a educação ambiental exclusivamente para a diminuição da degradação é o mesmo que reduzi-la a um instrumento de gerenciamento dos espaços (GUIMARÃES, 2004). As limitações e os riscos de equívocos mostram-se maiores quando visões fundamentadas nesses pressupostos desconsideram outras dimensões socioambientais importantes. Assim, o predomínio de uma visão despolitizada e a ausência de posicionamentos críticos tornam-se comuns, colaborando para a prevalência de interesses hegemônicos nos contextos sociais.

³ A educação ambiental adquire desdobramentos variados de acordo com os contextos sócio-históricos nos quais ela se articula. De acordo com Sauvé (2005b), os educadores ambientais (pesquisadores, professores, animadores, pedagogos, associações, organismos e outros) adotam diferentes discursos. Apresentam perspectivas ideológicas que resultam em materializações diversas nesse campo formativo. Uma boa leitura para a compreensão dessa polissemia pode ser realizada em “Uma cartografia das correntes em educação ambiental”, que consta das referências deste texto.

De acordo com Leff (2010), preocupações voltadas para os aspectos naturais mais contribuem para “ecologizar”⁴ o pensamento da sociedade do que para reduzir a interpretação que associa as questões socioambientais à descrição dos sistemas naturais. Essa afirmação de Leff tem se mostrado verdadeira. Nesse sentido, conforme Foladori (2001), perspectivas voltadas prioritariamente para essa dimensão promovem o deslocamento da visão sobre a problemática socioambiental, remetendo-a a entendimentos simplistas e inseridos em uma ordem “natural”. Assim, destacamos que a perspectiva crítica da educação ambiental guia a ótica desse estudo. Partimos do pressuposto de que somente informações sobre os componentes naturais do espaço são insuficientes e que, diante de tantas questões adversas da atualidade, faz-se necessária a formação crítica das pessoas para o enfrentamento das situações adversas que colocam em risco a própria sobrevivência humana.

A visão crítica da educação ambiental pode constituir-se, em parte, de um processo capaz de fornecer subsídios para os desafios da vida contemporânea. Assumimos esse referencial por este considerar o ser humano inserido no espaço de dimensões socioambientais; a vida em sua complexidade e a compreensão das questões ambientais não restritas apenas às dimensões naturais do espaço (CARVALHO, 2012; DIAS, 1994; GUIMARÃES, 2007, 2011; JACOBI, 2005; LOUREIRO, 2012; PORTOGONÇALVES, 2004; REIGOTA, 2009). Oliveira (2016) afirma que a finalidade principal da educação ambiental crítica é a formação de uma pessoa capaz de identificar, questionar, propor soluções e de agir perante as situações sociais adversas. Além disso, o desenvolvimento dessas capacidades se dá pelo próprio envolvimento das pessoas em seus contextos social, político e econômico.

Nesse sentido, a perspectiva crítica de educação ambiental subsidiária, pela formação de conhecimentos contextualizados,⁵ uma leitura de mundo mais complexa e instrumentalizada para a intervenção (GUIMARÃES, 2004, 2007), sendo esses conhecimentos constituídos pela interação com o outro e situados nas dimensões socioambientais das vidas dos agentes. No entanto, é importante destacar que o conhecimento por si só não garante mudanças em quadros sociais adversos. Elas se dão pela própria intervenção das pessoas, cuja ação coletiva é fundamental, pois potencializa um maior envolvimento dos sujeitos e estimula a formação de lideranças que dinamizam o grupo social (AMMANN, 1987; GUIMARÃES, 2007; JACOBI, 2005; LIMA, 2009).

4 O termo “ecologizar” é utilizado aqui para caracterizar um tipo de pensamento que tende a deslocar a discussão sobre a problemática ambiental de seus contextos sociais, políticos e econômicos para perspectivas reducionistas ao ambiente natural.

5 Segundo Guimarães (2004), consideram-se conhecimentos contextualizados aqueles formados na interação com o outro e situados nas dimensões sociais, políticas, econômicas e culturais das vidas dos sujeitos. São conhecimentos capazes de subsidiar uma leitura de mundo mais complexa e instrumentalizada para a atuação. Nesse sentido, admitimos que esses conhecimentos possibilitam o (re)conhecimento socioambiental do espaço, propiciam a análise e colaboram para o desenvolvimento de posturas de intervenção.

A formação dos conhecimentos entre os agricultores, contextualizados nas situações de risco vivenciadas pelo uso de agrotóxicos, é o objeto principal deste estudo. Partimos da hipótese de que tais conhecimentos são mínimos, tendo por base os relatos das práticas dos agricultores e de outros habitantes da região.

A informação é considerada um dos principais meios de construção desses conhecimentos, pois ela possibilita aos sujeitos o julgamento das situações vivenciadas. Para Guimarães (2004), Loureiro (2012) e Saito *et al.* (2000), a informação aumenta as capacidades de identificar e analisar problemas, exercer direitos, reivindicar provisão de serviços, entre outros exercícios de cidadania. Para González-Gaudio (1999, 2000, 2002), a informação pode colaborar para melhorias sociais na vida das pessoas, quando contribui para a atuação delas em seus contextos.

Fundamentado nessas premissas, o Núcleo vem desenvolvendo atividades de informação/formação de conhecimentos por meio de seus integrantes, visando à formação de professores e ao fortalecimento dos sujeitos envolvidos nas pesquisas. No caso desta pesquisa, as atividades desenvolvidas tiveram como finalidade principal o fortalecimento dos agricultores participantes da pesquisa-ação. Assim, evidenciamos o conceito de fortalecimento que tanto reforçamos.

A literatura apresenta uma diversidade de ideias acerca do conceito de fortalecimento, que assume vários significados de acordo com os contextos no qual se insere. Explícita, ainda, que a ampliação da utilização do termo por diferentes áreas faz com que ele adquira um caráter polissêmico e complexo.

No Núcleo, assumimos o fortalecimento como um processo dinâmico que objetiva aumentar a autonomia das pessoas em seus contextos sociais, referindo-se, assim, a indivíduos ou grupos submetidos a condições de opressão e/ou vulnerabilidade social. Nesse processo, procura-se o desenvolvimento de uma visão crítica e de posicionamentos para fazer frente às questões adversas (BAQUERO, 2012; FRIEDMANN, 1992; GOHN, 2004; HOROCHOVSKI; MEIRELLES, 2007; NARAYAN, 2002; ROMANO, 2002; WENDAUSEN; KLEBA, 2009). O fortalecimento, dessa maneira, concerne ao movimento no qual as pessoas constroem condições que lhes permitem ter influência, capacidade de ação e decisão para arbitrar sobre questões que lhes dizem respeito (FRIEDMANN, 1992; NARAYAN, 2002).

É relevante destacar que existem posicionamentos antagônicos acerca do fortalecimento dos sujeitos. Existe um grupo de autores, como Horochovski e Meirelles (2007), que considera fundamental a intervenção de agentes externos para o fortalecimento dos sujeitos. Entretanto, outro grupo de pensadores, no qual se inclui Friedmann (1992), afirma que o fortalecimento não pode ser fornecido por agente externo, pois os próprios sujeitos são capazes de se fortalecerem sozinhos. Consideramos que ambos os posicionamentos são relevantes e que uma síntese deles é possível e desejável. No que diz respeito aos agentes externos, assumimos que eles poderiam exercer a função de “catalisadores iniciais” na criação de espaços ou caminhos que sustentem esses processos; foi com esse posicionamento ideológico que nos propusemos à intervenção em campo.

Tendo como referência esses pressupostos teóricos que norteiam nossas ações, consideramos que a educação ambiental crítica favorece o fortalecimento dos agricultores, pois o desenvolvimento das capacidades de identificação, análise e ação refere-se a aspectos fundamentais para a intervenção nas situações que acometem suas vidas. A partir dessas conjecturas, apresentamos com uma perspectiva analítica o contexto de vida dos agricultores na produção agrícola e as ações dos estudantes até o presente momento.

O CONTEXTO DE VIDA DOS AGRICULTORES FAMILIARES E AS AÇÕES DOS ESTUDANTES DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

Antes da descrição analítica deste tópico, cabe uma breve caracterização dos aspectos metodológicos utilizados. Como mencionamos, a atenção para o local foi despertada pelas narrativas de um habitante da região, que era estudante do grupo. Em campo, as constatações sobre as situações de risco vividas pelos agricultores delinearam as ações e os pressupostos teórico-metodológicos do estudo.

A pesquisa foi desenvolvida alternando-se reuniões de estudos⁶ e de planejamento das ações no Núcleo e a execução dessas ações no meio rural. Optamos por concretizar a pesquisa-ação nos próprios locais de trabalho dos produtores e na escola rural do distrito (Figura 1), pois consideramos esses locais adequados aos objetivos do estudo.

FIGURA 1 - REGISTROS DA EXECUÇÃO DA PESQUISA-AÇÃO: (A) E (B) LOCAIS DE TRABALHO DOS AGRICULTORES E (C) LOCAL DE ESTUDOS DE SEUS FILHOS



Fonte: Produzida pelos autores.

⁶ Parte da pesquisa-ação que apresentamos foi estruturada no espaço do IFG/Câmpus Anápolis. Organizamos reuniões periódicas na sala do Núcleo para a discussão dos fatos constatados no meio rural e para estudos dos referenciais teóricos que norteiam nossa ótica de análise e atuação. Assim, todas as atividades desenvolvidas com os agricultores foram discutidas anteriormente pelo grupo. Esses encontros têm-se constituído em um rico espaço para a formação docente e planejamento das ações de intervenção.

A coleta de dados foi realizada por meio de anotações em diário de campo, de registros por fotografias e filmagens, de aplicação de questionários e de entrevistas semiestruturadas (BOGDAN; BIKLEN, 1994; FLICK, 2009; LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Para a análise dos dados, escolhemos o método da Análise de Conteúdo, de Bardin (2011), e recorreremos à técnica de categorização bem como às quantitativas de análise.

Foram mapeadas 26 “propriedades” de pequenos agricultores familiares no entorno do distrito (Figura 2). O estudo se deu em 19 propriedades, envolvendo 102 pessoas. Os adultos responsáveis diretos pela agricultura somaram 59 sujeitos; totalizaram 43 os jovens que, filhos ou parentes desses produtores, também vivem e trabalham na lavoura.

A aplicação dos questionários possibilitou a caracterização socioeconômica do grupo. Cada núcleo familiar possuía de 4 a 7 membros, sendo 54% deles do sexo feminino e 46% do sexo masculino. Todos os adultos e 68% dos jovens acima de 10 anos trabalhavam na produção agrícola, que era a única fonte de renda das famílias. Vale ressaltar que apenas 10% dos adultos eram proprietários da terra.

A faixa etária dos adultos que atuavam na produção era de 25 a 72 anos; já a dos jovens era de 12 a 19 anos.⁷ Em relação à escolaridade, apurou-se que 67% dos agricultores possuíam somente o ensino fundamental (completo ou incompleto). Entre os jovens, constatamos que apenas 47% daqueles com idade adequada para o ensino médio estavam matriculados nesse nível de escolaridade.⁸

Verificou-se, nos relatos nas entrevistas, que havia adultos trabalhando na aplicação de agrotóxicos por mais de 30 anos. Dos jovens entrevistados, 53% mencionaram que trabalhavam na agricultura com os pais desde a infância em atividades diversas: colheita, preparo da terra para o plantio, limpeza de terrenos, aplicação de agrotóxicos, entre outras.

Com a vivência em campo, deparamo-nos, em várias ocasiões, com situações de risco, que incluíam desde a preparação até a aplicação dos agrotóxicos. Observou-se a utilização de substâncias legalmente proibidas,⁹ com o uso indiscriminado de vários tipos de agrotóxicos na composição das misturas caudalosas, contendo oito a doze tipos de produtos diferentes. Mostrou-se preocupante o contato dos agricultores com esses produtos. Constatamos que, como predominava a prática de rotação de culturas, a frequência de exposição aos produtos era alta. Dos agricultores participantes da pesquisa, 90% aplicavam os produtos químicos pelo menos quatro vezes por semana

7 Notamos que essa lacuna entre os 19 e 25 anos deve-se ao êxodo dos jovens para Goiânia, em busca de melhores empregos e condições de vida. Porém, como é fato comum a esses processos migratórios, na Capital ocupam subempregos e são submetidos a condições difíceis de sobrevivência. As dificuldades, somadas ao crescente desemprego, impulsionam esses jovens de volta ao trabalho da agricultura.

8 A evasão na escola rural é alta e se dá sobretudo nos períodos de aplicação dos agrotóxicos e de colheita da produção. Como esses jovens são mão de obra fundamental na lavoura, muitos, por não conseguirem conciliar a intensificação do trabalho no campo com as atividades da escola, preferem abandoná-la, com o consentimento da família.

9 Deparamo-nos com a utilização de produtos que são proibidos desde a década de 1980. Para nossa surpresa, encontramos em algumas propriedades produtos de alta toxicidade, que são entregues nas propriedades por “comerciantes” vindos, principalmente, do Paraguai.

para o combate às pragas. Quanto aos equipamentos de segurança, verificamos que todos os agricultores manuseavam os produtos sem luvas, máscaras ou óculos de proteção e que também preparavam as misturas nos próprios locais de aplicação, o que aumentava o risco de contaminação dos indivíduos e do meio ambiente (Figura 2).

FIGURA 2 - SITUAÇÕES DE RISCO VIVENCIADAS *IN LOCO* COM OS AGRICULTORES NA PREPARAÇÃO DOS VENENOS



Fonte: Produzida pelos autores.

É importante destacar que a situação de maior risco ocorria durante a aplicação dos venenos, pois os agricultores utilizavam predominantemente uma bomba costal. Em algumas ocasiões, também presenciávamos a utilização de uma espécie de carrinho de mangueira e dispersor acoplado e, em outras, a utilização de motos e tratores com pulverizador (Figura 3).

FIGURA 3 - PRINCIPAIS FORMAS DE DISPERSÃO DOS VENENOS UTILIZADAS PELOS AGRICULTORES FAMILIARES



Fonte: Produzida pelos autores.

A escolha do equipamento utilizado era feita de acordo com o poder aquisitivo de cada agricultor. Como a maioria tinha baixa renda, predominava a utilização da bomba costal. Apesar das diferenças técnicas dos equipamentos, todos eles requeriam um alto nível de contato do manipulador com os produtos químicos, cujos danos se agravavam pela não utilização de EPI.

Durante o período em que as atividades dos agricultores foram acompanhadas, notou-se que, ao final delas, as roupas em contato direto com a pele ficavam encharcadas de veneno (Figura 4). Quando questionados sobre o uso de EPI, 45% afirmaram utilizá-lo com frequência, apesar de não visualizarmos essa prática em nenhum momento durante as visitas em campo. Apenas um agricultor mostrou o aparato, que estava novo por falta de uso.

FIGURA 4 - FILHO DE AGRICULTOR NO TRABALHO (DESDE OS 11 ANOS) COM A APLICAÇÃO DE AGROTÓXICOS EM ROUPAS EMBEBIDAS DE VENENO



Fonte: Produzida pelos autores.

Na escola, vários alunos mencionaram que ajudavam os pais na aplicação dos venenos. Em vários momentos nos deparamos com esses jovens nas lidas do campo. Observamos também a presença de crianças nos locais de plantio: brincando, colhendo, limpando os espaços da lavoura e manuseando recipientes dos agrotóxicos. Muitas dessas crianças, em várias ocasiões, encontravam-se em meio à fumaça das pulverizações. Durante as conversas e entrevistas, cerca de 75% dos agricultores relataram sintomas de intoxicação, tais como coceiras, náuseas, coriza, “amarelão”, queimaduras e vermelhidão na pele. Ainda assim, continuaram a utilizar os produtos sem a devida proteção e de forma indiscriminada.

Dos relatos emergiram casos de pessoas com diversas doenças na família, entre elas o câncer. Ainda não existe um estudo específico que confirme a relação dessa doença com o uso de agrotóxicos no local. Porém, quando analisamos os dados no Datasus (2016), evidenciamos um alto índice de câncer na região.

A análise desse quadro remete às situações de risco vividas pelos agricultores com o uso dos agrotóxicos. De maneira geral, predominava a condição de vulnerabilidade, resultante da pouca informação sobre os produtos utilizados. Dos produtores estudados, 95% afirmaram que nunca tinham participado de cursos sobre a utilização/riscos dos agrotóxicos. As informações a que tiveram acesso ou foram dadas pelos agrônomos das casas agropecuárias ou eram aquelas que constavam nas bulas, conforme os relatos a seguir:¹⁰

“a gente sabe que é perigoso, é mais pelos os que os outros falam que senti aí.” (Produtor 8).

“Aqui tem é mais de 30 anos que nós trabalho aqui, é desde criança [...] mais é eu nunca participei de curso nenhum disso de segurança.” (Produtor 21).

“os riscos que nós sabemos é mais os que estão escritos aqui, ó [...], só que a gente também não lê muito os rótulos não.” (Produtor 14).

“Aqui já faz 22 anos que eu trabalho com isso [...] É a primeira vez que vem gente aqui falar isso com nós.” (Produtor 14).

“as informações a gente pega mais lá na agropecuária. [...] São mais das vezes que tem que dar combate.” (Produtor 1).

“São mais os agrônomos que falam pra gente [...] É mais sobre o que a gente tem que usar, o que tem de novo pra comprar.” (Produtor 7).

“A maior parte das informações vem da bula mesmo, mas lá na cultura muitas vezes a gente joga a bula fora.” (Produtor 11).

Vivenciamos uma realidade constituída por “ignorâncias” e pouco (ou quase nenhum) conhecimento sobre o que é essencial para a segurança no trabalho com os agrotóxicos. A produção convencional adotada implica a utilização dos venenos, com um desconforto resultante que está relacionado à falta de informações sobre segurança. A pergunta “O que fazer, então?” foi uma constante em várias falas dos agricultores familiares.

Diante desse cenário problemático, pretendemos iniciar um processo de fortalecimento dos trabalhadores mediante a constituição de conhecimentos contextualizados. Consideramos que a informação é o principal meio para esse fortalecimento. Dessa maneira, desenvolvemos materiais didáticos e organizamos encontros com a comunidade, que foram conduzidos pelos estudantes da Licenciatura.

Os materiais didáticos, estruturados no formato de apostilas, foram elaborados em um período de oito meses no Núcleo. A finalidade dessa elaboração foi sistematizar as informações, de forma acessível, sobre a toxicidade, o manuseamento dos agrotóxicos e a segurança na aplicação desses venenos agrícolas. Assim, os assuntos foram contextualizados nas situações locais e apresentados de forma ilustrada.

¹⁰ Em todas as citações das falas os destaques em itálico são nossos.

Inicialmente, a intervenção foi realizada na escola rural da comunidade. A atividade ocorreu de forma dialogada, valorizando as experiências práticas dos alunos, que, reunidos em grupos, expuseram dúvidas e relataram suas vivências na lavoura (Figura 5).

FIGURA 5 - INTERAÇÃO ENTRE LICENCIANDOS E ALUNOS DA ESCOLA RURAL NA FORMAÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE OS RISCOS DO USO DE AGROTÓXICOS



Fonte: Produzida pelos autores.

Durante os encontros, surgiram dúvidas sobre a reutilização das embalagens e composição dos agrotóxicos. No entanto, as dúvidas predominantes foram sobre primeiros socorros e efeitos dos venenos em longo prazo. É compreensível, pois os alunos relataram os mesmos sintomas de intoxicação mencionados por seus pais e ainda destacaram a falta de preocupação quanto ao uso de EPI:

“A gente sempre sente mal lá. Daí a gente toma leite [...] Eu queria mesmo era saber o que tem que é que tem que fazer.” (Aluno 2).

“eu acho que tirou muitas dúvidas [...] A gente tem muitas dúvidas do mal que isso pode causar [...] do que é feito e também disso das embalagens.” (Aluno 9).

“Tem um veneno muito forte que eu bato com meu pai e fico com um ‘vermelhão’ no corpo todo [...] quando eu era criança não batia, batia outros.” (Aluno 5).

“Eu faço mais é de combate pequeno, porque eu sou novo agora, né [...] toda vez dá muita cocieira e escorre muito o meu nariz.” (Aluno 12).

“Pra falar a verdade ninguém lá de casa usa essa proteção. [...] Eu acho que não tem do meu tamanho não que é de adolescente, né? Ninguém nunca me falou nada disso.” (Aluno 17).

“Lá em casa não tem muito dessa preocupação não. [...] Pra gente dessa idade não tem não. Talvez porque a gente ajuda mais quando a praga ataca.” (Aluno 3).

“Eu gostei muito dessas aulas [...] Eu não sabia que eram tantos os riscos que a gente corre.” (Aluno 18).

Os entrevistados se mostraram surpresos com as informações e afirmaram desconhecer os prejuízos dos agrotóxicos à saúde humana. Ao final das atividades, solicitaram que retornássemos na escola com novas informações. Muitos deles se disponibilizaram às visitas no campo para multiplicar o trabalho de orientação com parentes e vizinhos.

O êxito com os alunos nos levou a utilizar o método com os agricultores. Preparamos um encontro na associação de agricultores, com a mesma finalidade anteriormente relatada: formação de conhecimentos para a diminuição das situações de risco. No entanto, a atividade somente efetivou-se após várias outras tentativas fracassadas pela ausência dos produtores na associação.¹¹ Muitos justificaram a ausência pelo cansaço do trabalho. Contudo, apuramos que essa ausência estava atrelada a uma visão pouco atrativa da escola, reforçada pelo baixo nível escolar dos indivíduos. Dessa maneira, organizamos o encontro com os agricultores em meio às festividades na associação.

O encontro com os agricultores teve êxito e contou com a presença de, aproximadamente, cinquenta pessoas. A proposta foi realizada de forma semelhante à executada com os alunos (Figura 6). Os agricultores relataram, com mais detalhes, as atividades na lavoura, desde a preparação da terra à aplicação de agrotóxicos e comercialização dos produtos.

FIGURA 6 - ENCONTROS DE FORMAÇÃO COM OS AGRICULTORES FAMILIARES SOBRE OS RISCOS DO USO DE AGROTÓXICOS



Fonte: Produzida pelos autores.

¹¹ Após visitas individuais por um período de dez meses, decidimos convidar todos os agricultores envolvidos no estudo para uma discussão sobre os riscos dos agrotóxicos. As primeiras tentativas fracassaram, pois não conseguíamos reunir número maior que seis pessoas. A reflexão sobre tal situação nos remeteu às experiências pouco prazerosas que essas pessoas relataram ter tido quando frequentaram a escola. Assim, optamos por realizar a reunião no Centro de Tradições Caipira do lugar, onde discutimos tais questões ouvindo músicas folclóricas e saboreando comidas típicas.

Esses agricultores demonstraram uma experiência tácita com poucos conhecimentos aprofundados sobre as atividades que realizam. Como já havíamos assimilado tais aspectos, procuramos tratar sobre as propriedades e riscos do uso de agrotóxicos. A promoção de um ambiente de conhecimentos foi nosso intuito principal.

Inferimos que o momento foi de aprendizado para ambas as partes: estudantes da Licenciatura e produtores da comunidade. Passadas as resistências iniciais, houve uma troca de conhecimentos entre os agricultores e os estudantes do grupo de pesquisa. Dessa troca destacamos a dimensão da educação ambiental, na qual todos são atores em um mesmo processo de formação (CARVALHO, 2012; LOUREIRO, 2012; SAUVÉ, 2005a, 2005b).

As percepções sobre o envolvimento na atividade – com a exposição das experiências vivenciadas na aplicação dos agrotóxicos, os relatos de casos de intoxicação, a explicitação de dúvidas, a atenção e atribuição de valor às informações veiculadas – remetem ao princípio de um processo de fortalecimento dos agricultores perante as situações ignoradas no meio. Esse processo pode ocorrer mediante o desenvolvimento das capacidades de perceber os fatos que os circundam, discutir e decidir sobre aquilo que lhes diz respeito (CARVALHO, 2012; GUIMARÃES, 2004, 2007; LOUREIRO, 2012; REIGOTA, 2004, 2009; SAITO *et al.*, 2000). Nesse sentido, afirmamos que a participação dos agricultores em seus contextos sociais, mediada pela informação e pelo estímulo ao pensamento crítico, certamente os levará ao fortalecimento que tanto discutimos e almejamos.

Esse processo é contínuo e se fortalece ao longo do tempo (FRIEDMANN, 1992; NARAYAN, 2002). Na pesquisa-ação realizada, percebemos, até o momento do estudo, aspectos que seriam favoráveis ao fortalecimento dos agricultores. No decorrer dos encontros, apreendemos o aumento no interesse por novas informações, solicitadas por vários participantes. Surgiram preocupações com a constituição de um lugar para a recepção do grupo de estudos nos dias de visitação, para o manuseamento, a disposição e a aplicação dos agrotóxicos. Esta última preocupação, evidenciada pela necessidade de melhor disposição dos recipientes e cuidados pessoais durante a aplicação, aponta para uma maior atenção com as circunstâncias ignoradas até então. Apesar de ainda não ser o ideal nesse contexto, indica possibilidades de mudanç as de posturas e para a intervenção nas situações de riscos vivenciadas pelos agricultores.

Acreditamos que tais aspectos são elementos iniciais de um processo a ser fortalecido. Nesse intuito, buscamos para a próxima etapa do estudo a colaboração de outros profissionais – químicos, agr nomos, biólogos e sociólogos – para a estruturação dos conhecimentos contextualizados. Dessa maneira, o Núcleo pretende colaborar para o fortalecimento dos sujeitos, tendo a perspectiva crítica da educação ambiental como base teórico-metodológica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao propor o estudo sobre o contexto de vida dos agricultores familiares, depa-ramo-nos com as situações de risco pelo uso e manuseio de agrotóxicos. Diante da realidade encontrada, decidimos realizar uma intervenção por meio da educação ambiental crítica, que consideramos favorável à promoção de conhecimentos, tomada de decisões e mudanças de atitudes em vista do fortalecimento dos agricultores.

O (re)conhecimento da pesquisa-ação foi fundamental para concretizar nos-so intuito de fortalecer o pequeno agricultor por meio da educação ambiental, pois a pesquisa nos permitiu apreender as necessidades proeminentes no contexto dos agricultores, sendo o conhecimento do meio o balizador das atividades planejadas no núcleo do IFG e, posteriormente, das ações executadas pelos alunos da licenciatura.

A flexibilidade na execução das atividades foi um fator importante. Notamos que a adequação das propostas ao cotidiano dos agricultores facilitou a divulgação das informações e despertou, gradualmente, a atenção deles para as questões discuti-das, o que propiciou a aproximação entre estudantes e agricultores.

Essa aproximação nos ensejou inferir que os agricultores estão submetidos a condições de vulnerabilidade também social perante o uso de agrotóxicos, principalmente pela falta de conhecimentos consistentes que possibilitem a escolha de produtos menos tóxicos, manuseamentos/aplicações e descartes com menor risco.

A constatação de que os agricultores adquirem os venenos com base na recomen-dação de outros colegas do meio ou fundamentados em sua experiência tácita nos per-mitiu confirmar, em consonância com as respostas no questionário, que eles possuem pouco acesso a conhecimentos sistematizados sobre toxicidade, formas adequadas de manuseamento ou nível de contaminação que os agrotóxicos podem causar.

A partir dessas evidências e de fundamentos dos referenciais teórico-metodoló-gicos nos quais nos baseamos, podemos afirmar que a construção de conhecimentos contextualizados pode colaborar para o fortalecimento dos indivíduos perante as si-tuações de risco que vivenciam cotidianamente. Destacamos que a perspectiva crítica da educação ambiental colabora para tal processo.

As surpresas por parte dos agricultores em relação às situações de risco mostram que essas situações, apesar de fazerem parte do cotidiano deles, são desconhecidas pela maioria. Nesse sentido, a nova perspectiva pode constituir-se em um meio para o reconhecimento delas. As constatações da pesquisa reforçam o pressuposto da neces-sária identificação dos problemas do meio social para a intervenção dos sujeitos em sua realidade. Ressaltamos que a capacidade de identificar é o primeiro passo em processos de fortalecimento dos sujeitos perante as situações adversas à vida. As solicitações por informações e questionamentos que emergiram durante os encontros resultaram em uma perspectiva inicial: o despertar da atenção para as situações de risco como princi-pal aspecto de estímulo por informações e questionamentos.

Tendo por base os resultados deste estudo, ponderamos que a educação ambiental crítica pode constituir-se como um processo capaz de fornecer subsídios para o enfrentamento das questões do lugar. O desenvolvimento das capacidades de identificar, problematizar e agir pode ser uma saída para a intervenção nas situações risco existentes na comunidade de agricultores (CARVALHO, 2012; GUIMARÃES, 2004; LOUREIRO, 2012; REIGOTA, 2009).

Fundamentados nos pressupostos da educação ambiental crítica, afirmamos que o processo formativo pode colaborar para o desenvolvimento de práticas menos prejudiciais aos agricultores. Acreditamos que o conhecimento contextualizado em conjunto com ações de enfrentamento às situações de risco é favorável a mudanças no quadro vivido por essas pessoas. Nesse cenário, a escola rural é um local importante, pois ela representa um espaço em potencial para a elaboração de conhecimentos e desenvolvimento das ações. A solicitação de novas informações, por parte dos alunos, sobre os agrotóxicos e a disposição para colaborar na veiculação das informações sinalizam possibilidades de intervenções mais efetivas em toda a comunidade.

Ainda no espaço de formação, a interação dos agricultores com os estudantes de Química nos encontros que organizamos se revelou um aspecto positivo tanto para a formação dos agricultores quanto dos estudantes. A análise das filmagens das atividades e dos momentos de interação nos permitiu inferir que esses momentos foram importantes para o aprendizado das pessoas envolvidas.

Em relação a tais encontros, uma análise específica da formação docente pela educação ambiental será detalhada em outro texto. Ainda assim, já podemos adiantar que esses processos, com sua complexidade e interferentes diversos, têm possibilitado o desenvolvimento docente para além do ensino-aprendizagem de conceitos. Situados nas dimensões socioambientais do espaço, percebemos a constituição de um professor crítico e atuante nos dilemas contemporâneos.

Acreditamos que o processo de fortalecimento pode ocorrer nessa comunidade de pequenos agricultores. O desenvolvimento das capacidades de perceber os fatos que os circundam, discutir e decidir sobre situações que lhes dizem respeito é um caminho para esse processo. Enfatizamos ainda que, pela interação mútua, essas capacidades são potencializadas na atuação crítica das pessoas. Nesse cenário situa-se nossa pesquisa-ação, caracterizando-se pela complexidade da vida, cujas ações humanas colocam-na em risco. A receptividade das ações do Núcleo é aspecto de destaque que emerge nesse local.

De maneira conclusiva, destacamos que o fortalecimento dos sujeitos é um dos principais caminhos para enfrentar os riscos do uso dos agrotóxicos. No entanto, esse processo será lento e se dará de forma gradativa ao longo de um trabalho sistematizado. Nesse sentido, o Núcleo pretende dar continuidade aos estudos, agindo como catalisador inicial e intervindo socialmente por meio da promoção de conhecimentos e do estímulo a mudanças de postura dos pequenos produtores rurais diante das situações de risco a que são expostos pelo uso de agrotóxicos.

REFERÊNCIAS

- AMMANN, Safira B. *Participação social*. 2. ed. São Paulo: Cortez & Morais, 1987.
- BAQUERO, Rute V. A. Empoderamento: instrumento de emancipação social? Uma discussão conceitual. *Revista Debates*, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 173–187, jan.-abr. 2012.
- BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Trad. Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BOGDAN, Robert C.; BIKLEN, Sari K. *Investigação qualitativa em educação*. Portugal: Porto, 1994.
- CARVALHO, Isabel C. M. *Educação ambiental: a formação do sujeito ecológico*. São Paulo: Cortez, 2012.
- DIAS, Genebaldo F. *Educação ambiental: princípios e práticas*. 3. ed. São Paulo: Gaia, 1994.
- FLICK, Uwe. *Introdução à pesquisa qualitativa*. Trad. Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FOLADORI, Guillermo. *Limites do desenvolvimento sustentável*. Campinas: Ed. Unicamp, 2001.
- FRIEDMANN, John. *Empowerment: the politics of the alternative development*. Cambridge: Blackwell Publishers, 1992.
- GOHN, Maria G. Empowerment and community participation in social policies. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 20–31, maio-ago. 2004.
- GONZÁLEZ-GAUDIANO, Edgar. Environmental education and sustainable consumption: the case of Mexico. *The Canadian Journal of Environmental Education*, North Bay, v. 4, p. 176–187, 1999.
- GONZÁLEZ-GAUDIANO, Edgar. Complejidad em educación ambiental. *Tópicos en Educación Ambiental*, Cidade do México, v. 2, n. 4, p. 21–32, 2000.
- GONZÁLEZ-GAUDIANO, Edgar. Revisitando la historia de la educación ambiental. In: SAUVÉ, Lucie; ORELLANA, Isabel; SATO, Michelle (org.). *Textos escolhidos em educação ambiental: de uma América à outra*. Montreal: Publications ERE-UQAM, 2002. p.86–104.
- GUIMARÃES, Mauro. Armadilha paradigmática na educação ambiental. In: LOUREIRO, Carlos F. B. et al. (org.) . *Pensamento complexo, dialética e educação ambiental*. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2011. p. 15–29.
- GUIMARÃES, Mauro. Educação ambiental crítica. In: LAYRARGUES, Philippe Pomier (org.). *Identidades da educação ambiental brasileira*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2004. p. 25–34.
- GUIMARÃES, Mauro. *Educação ambiental: no consenso um embate?* 5. ed. Campinas: Papirus, 2007.
- HOROCHOVSKI, Rodrigo R.; MEIRELLES, Giselle. Problematizando o conceito de empoderamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MOVIMENTOS SOCIAIS, PARTICIPAÇÃO E DEMOCRACIA, 2., 2007, Florianópolis. *Anais [...]*. Florianópolis: UFSC, 2007. p. 485–506.
- JACOBI, Pedro R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233–250, maio-ago. 2005.
- LEFF, Enrique. *Epistemologia ambiental*. Trad. Sandra Valenzuela. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2010.
- LIMA, Gustavo F. C. Educação ambiental crítica: do socioambientalismo às sociedades sustentáveis. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 35, n.1, p. 145–163, jan.-abr. 2009.
- LOUREIRO, Carlos F. B. *Trajetória e fundamentos da educação ambiental*. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2012.
- LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

- NARAYAN, Deepa. *Empoderamiento y reducción de la pobreza*. Trad. Teresa Niño Torres. México: Alfaomega; Washington: Banco Mundial, 2002.
- OLIVEIRA, Alessandro S. *Os dilemas socioambientais no entorno do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros: uma análise pela perspectiva crítica da educação ambiental*. 2016. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- PORTO-GONÇALVES, Carlos W. *Os (des)caminhos do meio ambiente*. 11. ed. São Paulo: Contexto, 2004.
- REIGOTA, Marcos. *Meio ambiente e representação social*. São Paulo: Cortez, 2004.
- REIGOTA, Marcos. *O que é educação ambiental*. São Paulo: Brasiliense, 2009.
- ROMANO, Jorge O. Empoderamento: recuperando a questão do poder no combate à pobreza. In: ANTUNES, Marta; ROMANO, Jorge O. (org.). *Empoderamento e direitos no combate à pobreza*. Rio de Janeiro: ActionAid Brasil, 2002. p. 9–20.
- SAITO, Carlos H. et al. Educação ambiental, investigação-ação e empowerment: estudo de caso. *Revista Linhas Críticas*, Brasília, v. 7, n. 10, p. 31–44, jan.–jun. 2000.
- SAUVÉ, Lucie. Educação ambiental: possibilidade e limitações. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 317–322, maio–ago. 2005a.
- SAUVÉ, Lucie. Uma cartografia das correntes em educação ambiental. In: CARVALHO, Isabel Cristina Moura; SATO, Michèle (org.). *Educação ambiental: pesquisa e desafios*. Porto Alegre: Artmed, 2005b. p. 17–44.
- WENDAUSEN, Agueda; KLEBA, Maria E. Empoderamento: processo de fortalecimento dos sujeitos nos espaços de participação social e democratização política. *Revista Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 733–743, 2009.



Conhecer as percepções, os valores e as dificuldades de uma coleta seletiva de lixo no município de Inhumas/GO¹

GUSTAVO HENRIQUE A. MONTEIRO ROCHA
JOÃO BAPTISTA CHIEPPE JÚNIOR
MARCELA AMORIM DA SILVA
NATASHA CAMILO DA SILVA OLIVEIRA

No Brasil, toneladas de lixos são produzidas e descartadas todos os dias nos lixões. Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), em 2018 foram geradas 79 milhões toneladas de resíduos sólidos urbanos e 6,3 milhões toneladas ficaram sem ser recolhidas nas cidades. Em comparação com os países da América Latina, a produção de lixo brasileira é a maior, correspondendo a 40% do total da região (541 mil toneladas/dia), de acordo com a ONU Meio Ambiente (AGÊNCIA BRASIL, 2019). Essa produção tende a crescer nos próximos anos. “Estimativas realizadas com base na série histórica mostram que o Brasil alcançará uma geração anual de 100 milhões de toneladas por volta de 2030.” (AGÊNCIA BRASIL, 2019).

Ainda de acordo com a Agência Brasil (2019), há um contingente considerável de pessoas que não são alcançadas por serviços regulares de coleta na porta de casa: 1 em cada 12 brasileiros encontra-se nessa situação. “O país utiliza o aterro sanitário como forma de disposição ambientalmente correta (59,5% do volume coletado). Entretanto, mais de 3 mil municípios ainda destinam seus resíduos para locais inadequados” (AGÊNCIA BRASIL, 2019). Observamos, através de estudos e dados estatísticos descritos por diferentes associações e institutos de pesquisa, que no Brasil são produzidas muitas toneladas de lixo diariamente e que um pequeno número de municípios realiza a coleta seletiva desse lixo e faz sua correta destinação.

¹ Parte deste texto foi publicada nos anais do VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental (ConGeA), realizado em Campina Grande/PB no período de 21 a 24 de novembro de 2016.

Embora uma pesquisa realizada pelo Compromisso Empresarial pela Reciclagem (Cempre) tenha mostrado que houve no país um aumento expressivo no número de cidades com iniciativa de coleta seletiva, ainda há uma concentração regional do serviço e uma abrangência reduzida. Na série histórica, verifica-se claramente esse aumento: em 1994, ano em que se iniciou o levantamento, eram somente 81 cidades; em 2010, ano da aprovação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), esse número foi para 443; em 2018, eram 1.227, o que representa apenas 22% dos municípios brasileiros (GAMA, 2018). No entanto, a grande maioria dos programas municipais de coleta seletiva situa-se nas regiões Sudeste e Sul do país, 416 e 337, respectivamente, o que constitui 87% do total. No Nordeste, são apenas 97 cidades, no Centro-Oeste 62 e no Norte só 15 com coleta seletiva (GAMA, 2018). Para o Cempre (*apud* GAMA, 2018), “a PNRS previa que até 2014 os municípios tinham que ter coleta seletiva implantada, que os lixões tinham que acabar e a construção de um sistema nacional de dados. Não aconteceu nada disso e não houve discussão adequada sobre isso.” Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (*apud* EQUIPE ECYCLE, 2019), o Brasil produz, todos os dias, 160 mil toneladas de resíduos urbanos. Assim, o brasileiro gera, por dia, 1,4 quilos de resíduos, dos quais 60% são orgânicos e 40% são recicláveis ou rejeitos (EQUIPE ECYCLE, 2019). No entanto, “a questão dos resíduos sólidos domiciliares permanece sem solução adequada, o que indica a necessidade de que tanto gestores(as) quanto educadores(as) revejam suas atuações nesse contexto.” (LOGAREZZI, 2006, p. 138). Nesse contexto, mesmo que não seja a solução do problema – o que requer, entre outras medidas, alterações na lógica produtiva e nas políticas públicas vigentes –, a reciclagem é fundamental. Afinal,

o processo contribui para a economia de água e energia, reduz os custos de matérias-primas e diminui o volume de resíduos gerados a partir da exploração de recursos naturais. Para que a reciclagem possa ser feita, no entanto, é preciso separar e destinar os resíduos corretamente. A prática é um pouco complicada no início, mas, com o tempo, separar seus materiais se tornará muito natural (EQUIPE ECYCLE, 2019).

De acordo com Logarezzi (2006, p. 138), “é preciso evoluir do tratamento que tem sido tradicionalmente adotado (coleta seletiva) como alternativa de solução em relação ao tratamento convencional (coleta comum).” Para tanto, deve-se ponderar que

é especialmente significativo, por exemplo, o contexto da geração de resíduo e de sua destinação como lixo no Brasil, em que o drama social (de catadores em lixões, aterros e ruas) e a degradação ambiental (dos conhecidos impactos no solo, na água e no ar) devem ser compreendidos como implicações indiretas de nossos atos em sociedade, o que nos torna responsáveis por aqueles problemas e, na medida de nossa noção de cidadania, também pelas soluções que devem ser construídas em ações individuais e coletivas (LOGAREZZI, 2006, p. 139).

Apresentada a questão do lixo e de seus impactos ambientais, além das possíveis estratégias de gestão e manejo dos resíduos sólidos, é preciso apontar para soluções que proponham minimizar a crescente geração desses resíduos.

Considerando que a gestão do município de Inhumas/GO não realiza a coleta seletiva na área urbana, este trabalho é justificável e necessário para oferecer informações básicas muito importantes acerca da cadeia produtiva de reaproveitamento dos resíduos produzidos por esse município, visto que eles acarretam sérios problemas socioambientais em decorrência de sua destinação inadequada. Cabe ressaltar que, há tempos, o material coletado tem sido despejado às margens dos cursos d'água e em encostas da região.

Em vista dessa problemática, esta pesquisa teve como objetivo avaliar, de acordo com uma lógica mais atual e sensata, como pensam, comportam-se e agem os moradores da cidade de Inhumas/GO, buscando conhecer seus hábitos, valores, atitudes e percepções caso fosse implantada a coleta seletiva de lixo. Essa avaliação poderá servir de referência para o planejamento, a inserção e a viabilização de um novo programa de educação ambiental no município, identificando a melhoria que a coleta seletiva de lixo pode proporcionar ao processo de gestão de resíduos na cidade.

Após a análise da situação do município nesse aspecto, mediante a observação do tipo de lixo produzido por seus habitantes, será apresentado um diagnóstico à Prefeitura Municipal de Inhumas/GO, para subsidiar a construção de uma unidade de triagem de resíduos e de compostagem e, paralelamente, desenvolver um projeto de educação ambiental, que terá como objetivo sensibilizar a população para novos valores e atitudes em relação ao lixo.

MATERIAL E MÉTODOS

Observa-se que a avaliação da gestão de resíduos é uma técnica de verificação de qualquer processo, que precisa ser visto como um projeto específico, com metodologia própria e etapas definidas. Com base nesse entendimento, foi realizada uma pesquisa, para compreender e avaliar como os moradores do município de Inhumas/GO participam da coleta seletiva de lixo, identificando seus hábitos e atitudes e as dificuldades encontradas. Na pesquisa, foram utilizadas técnicas de observação participativa, entrevistas semiestruturadas, bem como aplicação de um questionário.

FASES DE DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

A metodologia em questão foi aplicada no período de agosto 2014 a julho 2015, conforme este cronograma:

- a. **Meses de agosto e setembro de 2014:** foi feito um estudo analítico-descriptivo (aleatoriamente) para levantamento dos principais locais (bairros da cidade) a serem buscados em pesquisa domiciliar.

- b. **Meses de outubro de 2014 a fevereiro de 2015:** a partir do levantamento feito no mês de agosto, foram utilizadas as técnicas de pesquisa com a aplicação de um questionário durante as entrevistas nos domicílios. A pesquisa domiciliar foi feita três vezes por semana de forma aleatória nas residências de todos os bairros selecionados anteriormente. Nos locais pontuados, os moradores foram interpelados por meio de um questionário com perguntas estruturadas (Figura 1), no sentido de conhecer as percepções e atitudes da comunidade caso fosse implantada a coleta seletiva de lixo na cidade.
- c. **Meses de março a abril de 2015:** os dados foram tabulados, armazenados e analisados em uma planilha de Microsoft Office Excel 2007.
- d. **Meses de maio a julho de 2015:** os resultados alcançados, em conformidade com a metodologia desenvolvida, foram discutidos, concluídos e divulgados em forma de produções bibliográficas e apresentações em encontros científicos de áreas afins.

FIGURA 1 - QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTAS DOMICILIARES SOBRE COLETA SELETIVA

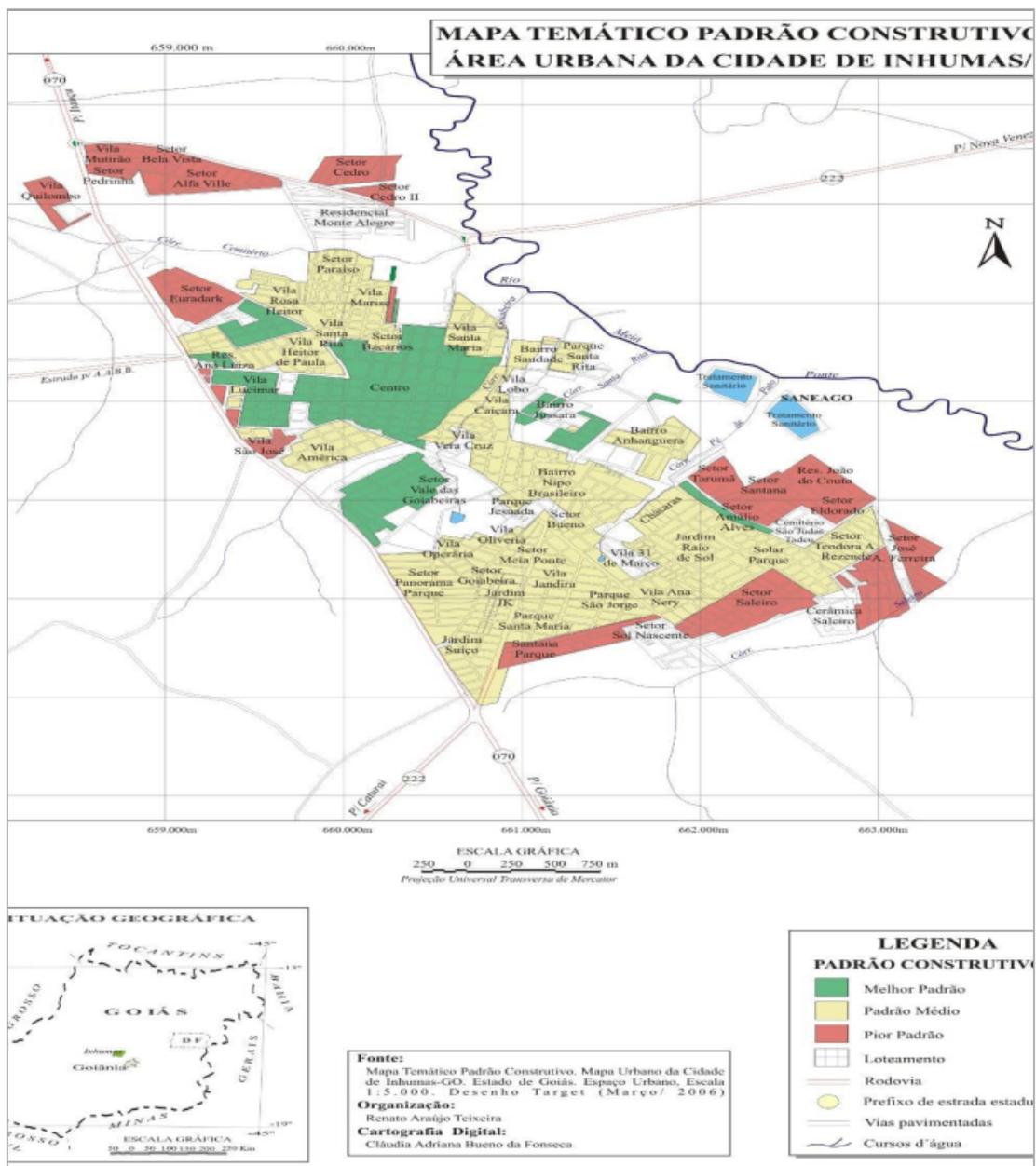
PIBIC IFG Campus Inhumas
<p>1. A família sabe o que é coleta seletiva de lixo?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>
<p>2. A família sabe como separar o lixo para a coleta seletiva ?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>
<p>3. A família sabe identificar e separar o que é lixo seco, úmido e rejeito ?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>
<p>4. A família quer a implantação da coleta seletiva de lixo na cidade ?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>
<p>5. Caso implante, a família participaria efetivamente dessa coleta seletiva de lixo ?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p>

Fonte: Produzida pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização da pesquisa domiciliar, os bairros foram avaliados em uma análise descritiva do padrão de vida das diferentes localidades (setores, vilas e bairros) do município de Inhumas/GO. Considerando que os indivíduos podem apresentar distintas dificuldades, percepções e valores a depender de sua relação com o meio, a ausência de observação dessa diversidade pode resultar, conforme Loureiro e Andrade (2001), na não identificação de problemas, limitações ou erros que poderiam ser superados se percebidos a tempo. Tomando por base essa compreensão, a aplicação do questionário organizou-se tendo em vista o padrão de vida dos moradores. Para tanto, o município foi analisado por meio do Mapa 1, confeccionado em 2006 a partir da interpretação de informações do satélite LANDSAT 5TM.

MAPA 1 - ÁREA URBANA DA CIDADE DE INHUMAS/GO (2006)



Fonte: Teixeira (2012).

Os resultados da pesquisa realizada nos bairros previamente selecionados de acordo com sua posição estratégica foram tabulados e analisados em forma de gráficos. As entrevistas domiciliares foram efetuadas, em um primeiro momento, em bairros considerados de padrão mediano (padrão de vida média/baixa), como Vila Jandira, Vila Floresta, Panorama Parque, Setor Teodoro Alves, e, posteriormente, em bairros de alto padrão de vida, como Vale das Goiabeiras e Centro.

Os bairros de padrão de vida média/baixa tinham como principais características: ausência de saneamento básico; infraestrutura viária sem asfalto na grande maioria e falta de espaço público de convívio social e organização comunitária. Já os outros bairros, os de elevado padrão de vida, possuíam uma estrutura consolidada em todos os aspectos de infraestrutura, saneamento e desenvolvimento social da comunidade. Nas entrevistas, constatou-se que a receptividade para realização da pesquisa era maior entre os moradores dos bairros de padrão de vida mediano do que entre os residentes nas localidades com melhor padrão de vida.

Os dados obtidos isoladamente em cada grupo de bairros foram agrupados, tabulados e analisados em conjunto. Obtivemos cinco gráficos, um para cada pergunta, com a porcentagem da amostragem total de entrevistados, a qual foi composta por 300 casas. Os gráficos estão ordenados de acordo com a sequência da entrevista fechada realizada nos domicílios.

GRÁFICO 1 - RESPOSTAS À QUESTÃO 1 DA ENTREVISTA DOMICILIAR



GRÁFICO 2 - RESPOSTAS À QUESTÃO 2 DA ENTREVISTA DOMICILIAR



GRÁFICO 3 - RESPOSTAS À QUESTÃO 3 DA ENTREVISTA DOMICILIAR

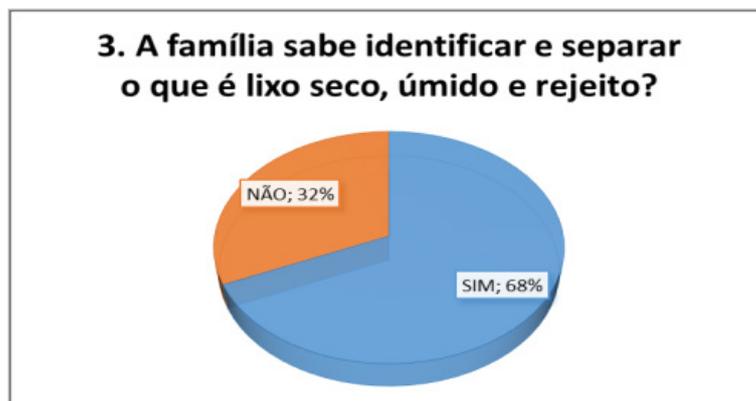
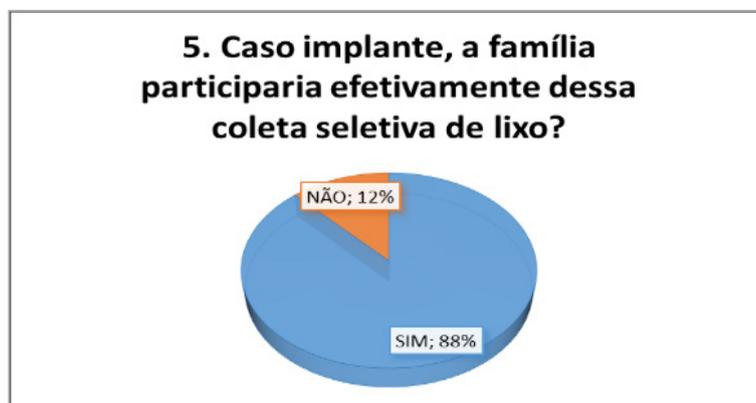


GRÁFICO 4 - RESPOSTAS À QUESTÃO 4 DA ENTREVISTA DOMICILIAR



GRÁFICO 5 - RESPOSTAS À QUESTÃO 5 DA ENTREVISTA DOMICILIAR



A análise dos dados mostrou que 92% dos indivíduos entrevistados no município de Inhumas/GO conhecem o conceito de coleta seletiva de lixo. Todavia, da amostragem total 15% desconhecem como separar o lixo para efetivar essa coleta, bem como 32% não sabem identificar e separar o que é lixo seco, lixo úmido e rejeito.

Em relação à implementação da coleta seletiva, 88% dos entrevistados afirmaram desejar que essa medida fosse efetivada, indicando que contribuiriam com a coleta caso fosse implantada na cidade. Apesar desse resultado positivo, à época da pesquisa, o município ainda não possuía um plano de gestão de resíduos para esse tipo de tratamento do lixo urbano.

Como assinalado anteriormente, esses resultados, pelos quais se revela a percepção dos moradores da cidade sobre a coleta seletiva, poderão servir de base para o estabelecimento de políticas públicas que visem planejar, inserir e viabilizar um novo programa de educação ambiental no município de Inhumas/GO, demonstrando como a coleta seletiva de lixo pode contribuir para uma gestão mais eficiente dos resíduos urbanos. Conhecer a situação do lixo no município é imprescindível para a formulação do diagnóstico de que a Prefeitura Municipal de Inhumas/GO necessita caso se pretenda garantir a construção de uma unidade de triagem dos resíduos e de compostagem, bem como o desenvolvimento de um projeto de educação ambiental, cujo fim último seja promover uma ampla sensibilização popular acerca das mudanças de valores e atitudes contra os impactos de um crescente problema socioambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados tabulados e analisados, conclui-se que a grande maioria dos entrevistados da cidade de Inhumas/GO conhece o sistema de coleta seletiva de lixo. No entanto, aproximadamente um terço deles tem dificuldades de separar os lixos conforme esse sistema. Sendo assim, pode-se aferir que a aceitação e a contribuição, caso a coleta seletiva fosse implantada, estão relacionadas com o conhecimento acerca do manuseio dos resíduos e da organização do serviço na cidade.

AGRADECIMENTO

Ao CNPq pelos recursos no desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL. Brasil gera 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. *UOL*, São Paulo, 8 nov. 2019. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-brasil/2019/11/08/brasil-gera-79-milhoes-de-toneladas-de-residuos-solidos-por-ano.htm> Acesso em: 15 abr. 2020.
- CORREIO BRAZILIENSE. Visão do correio: lixo, problema que se agrava. *Correio Brasiliense*, Brasília, 6 jan. 2020. Disponível em: https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/opiniao/2020/01/06/internas_opiniao,818537/visao-do-correio-lixo-problema-que-se-agrava.shtml Acesso em: 20 abr. 2020.
- EQUIPE ECYCLE. *Guia de preparo dos resíduos para descarte*. 19 jul. 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/67-dia-a-dia/5632-guia-de-preparo-dos-residuos-para-descarte.html> Acesso em: 20 abr. 2020.
- GAMA, Mara. Pesquisa aponta crescimento de cidades com coleta seletiva. *Folha de S. Paulo*, São Paulo, 10 dez. 2018. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2018/12/pesquisa-aponta-crescimento-de-cidades-com-coleta-seletiva.shtml> Acesso em: 20 abr. 2020.
- LOGAREZZI, Amadeu. Educação ambiental em resíduo: o foco da abordagem. In: LOGAREZZI, Amadeu; CINQUETTI, Heloisa C. S. (org.). *Consumo e resíduo: fundamentos para o trabalho educativo*. São Carlos: EdUFScar, 2006. p. 119-144.

LOUREIRO, Carlos F. B.; ANDRADE, André L. C. Monitoramento e avaliação de projetos em educação ambiental: uma contribuição para o desenvolvimento de estratégias. In: SANTOS, José E.; SATO, Michèle A. *A contribuição da educação ambiental à esperança de Pandora*. São Carlos: Rima, 2001.

TEIXEIRA, Renato A. *Município de Inhumas: com eira e sem beira no descompasso da metrópole*. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.



Pagamento por serviços ambientais na agropecuária brasileira

ANTONIO PASQUALETTO
GRIGÓRIO DA SILVA OLIVEIRA JÚNIOR

As instabilidades econômicas e políticas interferem negativamente no setor agropecuário brasileiro. Agravam mais a situação problemas associados às mudanças climáticas (aumento de temperatura), à escassez de recursos hídricos, aos desmatamentos, aos processos de desertificação, à erosão, ao aumento dos preços das *commodities*, entre outros. Diante dessa problemática, buscam-se alternativas aos produtores rurais acerca de ações ambientais.

Uma das alternativas é realizar pagamentos ao beneficiário por serviços ambientais feitos, visando ao fluxo contínuo e à melhoria do serviço demandado. Esses pagamentos são fonte adicional de renda e forma de ressarcimento dos custos encarados pelas práticas conservacionistas do solo, que permitem o fornecimento dos serviços ecossistêmicos (GELUDA; YOUNG, 2005).

Para Young (2007), há poucas situações concretas nas quais o proprietário de áreas voltadas à preservação recebe incentivos diretos. A maioria está ligada aos seguintes aspectos: a) isenção fiscal: isenção de imposto territorial rural (repassa de ICMS para municípios com mais áreas de conservação e possível abatimento de imposto de renda); c) taxas de visitação e outras receitas associadas ao ecoturismo (serviços de guia, hospedagem, alimentação e transporte de turistas, comercialização de *souvenirs*); d) venda de produtos obtidos por extrativismo sustentável (incluindo a ideia de “comércio justo”); e) benefícios no que se refere a *marketing* ou imagem da empresa.

Uma preocupação que envolve instituições, públicas ou privadas, e a sociedade é a escassez de recursos ambientais. É fato que as empresas podem economizar mais significativamente agindo de forma preventiva do que fazendo ações corretivas. A busca constante de saídas para controlar e explorar de forma sustentável bens e serviços naturais permitiu a discussão sobre a institucionalização de Política Nacional

de Serviços Ambientais (PNSA) e a criação do Programa Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

Para Durigan (2010), novos mecanismos de estímulo à conservação em terras privadas se fazem necessários, como remuneração por serviços ambientais relacionados à proteção aos recursos hídricos ou à redução das emissões de carbono (REDD). Tornar lucrativas as reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs) ou criar subsídios para formas de exploração tradicionais e ecologicamente sustentáveis seriam providências desejáveis com vistas à conservação voluntária.

A intensificação de práticas inadequadas na agropecuária pode causar danos ao meio ambiente, como desmatamentos ilegais, degradação do solo e contaminação das bacias hidrográficas. Esses danos poderiam ser evitados com a sensibilização, a conscientização e o incentivo financeiro ao produtor rural, para que este conserve suas reservas ambientais e hídricas.

Neste texto, as diversas formas de pagamento por serviços ambientais àqueles que fazem a manutenção e a restauração dos ecossistemas, o mecanismo regulatório e as formas de financiamento são alguns temas de discussão (VIEIXAMERICAS, 2009). Assim, realizou-se uma revisão de literatura sobre possibilidades e alternativas a fim de que o produtor rural conserve os recursos ambientais e obtenha renda através de contratos de pagamento por serviços ambientais (PSA).

POLÍTICAS DE INCENTIVO NO BRASIL

Para Lustosa, Cánepa e Young (2003), política ambiental é o conjunto de metas e instrumentos para reduzir impactos negativos da ação antrópica sobre o meio ambiente. De acordo com Andrade e Fasiaben (2009), essa política subdivide-se em dois grupos: (a) instrumentos de comando e de controle (*command and control policies* – C&C) e (b) instrumentos econômicos (*economic instruments* – IE).

Os instrumentos de comando e de controle dizem respeito ao controle/monitoramento direto sobre os agentes (firmas ou famílias, no jargão econômico) que emitem poluentes no meio ambiente. Cabe ao órgão regulador estabelecer normas, procedimentos e fiscalizar os agentes poluidores. Podem ser eficazes no controle dos impactos ambientais, mas sua desvantagem está no fato de que todos os agentes poluidores são igualmente tratados, desconsiderando-se suas diferenças, tais como porte e quantidade de poluentes emitidos. Além disso, a fiscalização do cumprimento das normas estabelecidas pode significar altos custos de manutenção (ANDRADE; FASIABEN, 2009).

Os instrumentos econômicos visam à formação de incentivos para que os agentes poluidores internalizem custos ambientais (ou externalidades) que normalmente não seriam contabilizados em sua estrutura de custos na ausência de tais incentivos (LUSTOSA; CÁNEPA; YOUNG, 2003). Para Motta e Mendes (2001), essa medida é vista

como a abordagem complementar mais eficiente de política ambiental. Entre suas vantagens está o fato de que, por meio dela, são consideradas as diferenças de custo e controle existentes entre os agentes, além de serem evitados dispêndios judiciais da aplicação de penalidades.

Os pagamentos de serviços ambientais estão distantes de se caracterizarem como intervenção política de reorientação das práticas de uso social dos recursos naturais. Essa intervenção deve ser resultado do planejamento integrado da gestão dos recursos naturais com os anseios de desenvolvimento das forças sociais estabelecidas num dado território. A gestão ambiental é componente indissociável das estratégias de desenvolvimento social, as quais devem ser condicionadas pelas necessidades de equilíbrio dos ecossistemas naturais (MARTINS; VALENCIO, 2003).

De acordo com Vilar *et al.* (2010), o estabelecimento de políticas de controle ambiental segue o Princípio do Poluidor-Pagador (PPP), que define que o poluidor deverá arcar com os custos das medidas para redução da poluição, o que é decidido pelas autoridades públicas para assegurar que o meio ambiente se encontre em estado aceitável. As políticas de comando e controle são ineficientes para garantir a preservação ambiental; logo, a compensação por serviços ambientais surge como forma de incentivar o produtor rural a proteger áreas de importantes funções ecossistêmicas dentro de sua propriedade. Define-se, dessa forma, o Princípio do Conservador-Recebedor (PCR), pelo qual aquele que conserva recebe algum incentivo ou, até mesmo, remuneração para proteger determinadas áreas. Já o Princípio do Protetor-Recebedor (PPR) foi estabelecido na área do direito ambiental como a aplicação inversa do conhecido PPP (RIBEIRO, 2013).

No Quadro 1, são apresentados os tipos de compradores e as motivações para que cada agente participe do Programa de Pagamento de Serviço Ambiental.

QUADRO 1 - TIPOS DE COMPRADORES DO PROGRAMA PSA E SUAS MOTIVAÇÕES

COMPRADOR	MOTIVAÇÕES
Empresa privada	<p>Mercados reguladores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cumprimento das regulações (por exemplo, relacionados a gases de efeito estufa/mercados de carbono); <p>Mercados voluntários:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Redução dos custos operacionais e de manutenção por investimentos em serviços ambientais; - Cobertura dos riscos (por exemplo, relacionadas à oferta dos principais insumos de recursos naturais, regulação de potencial futuro); - Aumento de confiança dos investidores através da abordagem de questões ambientais proativas; - Reforço de marca e melhora da imagem pública; - Manutenção de licença para operar, investindo no bom relacionamento com as comunidades, organizações não governamentais e entidades reguladoras.
Intermediário privado	<ul style="list-style-type: none"> - Simplificação da cadeia de oferta para os compradores; - Obtenção de lucro.

(continua)

COMPRADOR	MOTIVAÇÕES
Governo	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação de política internacional (por exemplo, Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima); - Adesão à regulamentação nacional para proteger; - Investimento em longo prazo no abastecimento de recursos naturais; - Reposta à pressão pública; - Redução dos custos (por exemplo, investindo em sistemas de filtragem natural, em vez de construir uma unidade de tratamento de água).
Órgão doador	<ul style="list-style-type: none"> - Cumprimento do objetivo ambiental ou de desenvolvimento; - Aumento das fontes de renda para conservação.
ONG	<ul style="list-style-type: none"> - Cumprimento do objetivo ambiental ou de desenvolvimento ambiental ou de desenvolvimento (por exemplo, The Nature Conservancy atualmente compra servidões dos latifundiários; os pagamentos podem se tornar outro mecanismo para explorar o alcance das metas de conservação).
Indivíduos particulares	<ul style="list-style-type: none"> - Ação sobre as preocupações ambientais e sociais (por exemplo, comprando compensações para reduzir as pegadas de carbono, água e/ou biodiversidade); - Investimento em novas operações (bens imóveis).

(conclusão)

Fonte: Katoomba Group e Forest Trends (2009, p. 33).

Altmann (2010) aborda o pagamento de serviços ambientais no Brasil em relação aos aspectos jurídicos de sua aplicação, tratando, especificamente, do Projeto de Lei n. 5.487, que propunha a instituição da Política Nacional dos Serviços Ambientais (PNSA). Segundo o autor, o mérito desse projeto foi a valorização dos serviços ambientais, a partir da qual o poder público e a sociedade poderiam “traçar novas estratégias de preservação e recuperação do meio ambiente” (ALTMANN, 2010, p. 10). A estratégia primeira da PNSA seria a criação de um Programa Federal de Pagamento por Serviços Ambientais (PFPSA) que tivesse como fonte de recursos um fundo específico. Em 2013, o Projeto de Lei n. 276 tentou instituir a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA).

De acordo com o mesmo autor, seguindo a classificação adotada pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM), a PNSA divide os serviços ambientais em três modalidades: os *serviços de provisão* são os “que resultam em bens ou produtos ambientais com valor econômico, obtidos diretamente pelo uso e manejo sustentável dos ecossistemas”; os *serviços de suporte e regulação* são aqueles “que mantêm os processos ecossistêmicos e as condições dos recursos ambientais naturais, de modo a garantir a integridade dos seus atributos para as presentes e futuras gerações”; os *serviços culturais* são aqueles “associados aos valores e manifestações da cultura humana, derivados da preservação ou conservação dos recursos naturais” (ALTMANN, 2010, p. 10).

DEFINIÇÃO E PROPÓSITO

Hernandez (2017) define o que são os serviços ambientais. Um mecanismo de PSA se refere, na maioria das vezes, a qualquer tipo de política para a conservação

baseada em mecanismos de mercado, incluindo emissão de ecocertificados, concessão de incentivos (isenção fiscal, por exemplo), subsídios etc. Tais mecanismos são comumente discutidos sob o conceito de PSA, embora se considere que incluir outras formas de financiamento que não sejam compensação direta entre usuários e provedores de serviços ecossistêmicos bem concretos significa diluir e ampliar inadequadamente o conceito (KIERSCH, 2005).

O conceito de PSA utilizado refere-se exclusivamente a pagamentos diretos entre beneficiários de serviços ecossistêmicos e seus provedores. Por provedores de serviços ecossistêmicos entendem-se os agentes responsáveis pela gestão dos ecossistemas, os quais devem receber incentivos para que essa gestão seja favorável à contínua provisão dos serviços provenientes de alguns tipos de usos do solo (ANDRADE; FASIABEN, 2009).

Segundo Wunder (2005), o PSA caracteriza-se por transação voluntária, em que um (ou mais de um) serviço ecossistêmico bem definido é obtido por um (ou mais de um) beneficiário desse serviço se, e somente se, o seu provedor for capaz de garantir a provisão do(s) serviço(s) em questão. Vatn (2008) argumenta que essa definição é ponto de referência teórico ou ideal, no sentido de que não se consideram os problemas específicos envolvidos na criação do mercado para serviços ecossistêmicos.

Mayrand e Paquin (2004) citam o PSA como forma de buscar apoio a externalidades positivas, com transferência de recursos financeiros dos beneficiários de certos serviços ecossistêmicos aos provedores desses serviços. A atratividade está no fato de que o PSA pode ser instrumento de tradução de valores ambientais externos, não capturados pelo mercado, em incentivos financeiros reais para atores locais de serviços ecossistêmicos (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

Andrade (2007) faz ver, entretanto, que, de um lado, as externalidades positivas nem sempre são perceptíveis, de outro, as medidas de conservação nem sempre são de interesse dos gestores do recurso. A decisão do produtor em desmatar a floresta não leva em conta o seu valor à sociedade. Assim, uma das finalidades do PSA é aumentar o custo de oportunidade de desmatar, valorizando a floresta por meio do pagamento de serviço por ela prestado. Trata-se do princípio do provedor-recebedor: quem presta um serviço ecossistêmico, gerando benefícios à coletividade, tem o direito de ser compensado pelo custo de oportunidade de não usar a área para outro fim. O PSA permitiria criar situação “ganha-ganha”, tanto para quem garante como para quem demanda os serviços. Para Pagiola e Platais (2007), os mecanismos de PSA tentam, na prática, colocar em funcionamento o chamado teorema de Coase, o qual estipula que os problemas de efeitos externos podem, sob certas circunstâncias, ser resolvidos por meio de negociações privadas entre as partes afetadas (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

De acordo com Pagiola, Bishop e Landell-Mills (2002), o PSA aparece como forma de agregar valor monetário aos serviços gerados, tornando a oferta de serviços

ecossistêmicos parte da decisão estratégica dos agentes, pois os usuários terão incentivo direto a tornar suas práticas mais sustentáveis. Mecanismos de PSA são aplicáveis, principalmente, em situações em que a perda de serviços ecossistêmicos resulta de usos inapropriados do solo (PAGIOLA; PLATAIS, 2007). Há serviços ecossistêmicos considerados bens públicos, como a regulação climática; outros podem ser rivais ou excludentes no seu consumo, como serviços de provisão. Essas considerações têm implicações importantes para o desenho de uma política de PSA, pois indicarão quem deve ser os compradores dos serviços ecossistêmicos (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008).

Stanton e Tejeiro (2014) elaboraram relatório sobre sistemas estaduais de pagamento por serviços ambientais: diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação, onde descrevem a importância do PSA. Da mesma forma, Vasconcelos (2017) apresenta subsídios para o desenvolvimento econômico a partir do conhecimento e pagamento por serviços ambientais.

A IMPORTÂNCIA DO PAGAMENTO DE SERVIÇO AMBIENTAL

O conceito de multifuncionalidade da agricultura pressupõe a produção de serviços ambientais diversos como biodiversidade, paisagens rurais e habitat para espécies selvagens (ROMSTAD, 2004). Nesse sentido, Kosoy *et al.* (2006) afirmam que, para que sejam eficientes, os esquemas de PSA precisam atingir duas condições: os pagamentos devem cobrir ao menos o custo de oportunidade do uso da terra a ser compensado, e o montante a ser pago deve ser inferior ao valor econômico da externalidade ambiental. Em relação à primeira condição, se o custo de oportunidade não for coberto pelo pagamento, o dono da terra não tem incentivo para adotar o uso do solo ou a prática fomentada. O montante pago deve ser inferior ao valor econômico da externalidade, pois, se for maior, o usuário prefere sofrer a externalidade.

Segundo Geluda e Young (2005), os sistemas de PSA têm princípio básico no reconhecimento de que o meio ambiente fornece gratuitamente uma gama de bens e serviços que são de interesse direto ou indireto do ser humano, permitindo sua sobrevivência e seu bem-estar. Esses bens são: a provisão de alimentos, fibras e energia; a manutenção dos recursos genéticos para o desenvolvimento de produtos industriais, farmacológicos e agrícolas; a possibilidade de estudos; a provisão de madeira e minerais; a estabilização do clima; o controle de pestes e doenças; a purificação do ar e da água; a regulação do fluxo e da qualidade dos recursos hídricos; o controle da sedimentação; a manutenção da fertilidade do solo e do ciclo de nutrientes; a decomposição dos rejeitos orgânicos; os benefícios estéticos e culturais e as possibilidades de lazer (LANGLEY, 2001).

RELAÇÃO DE PSA E A AGROPECUÁRIA

Swinton *et al.* (2006) classificam as florestas plantadas como parte da agricultura e analisam esse setor como um todo para a provisão de serviços ambientais.

Os autores argumentam que a agricultura oferece maior potencial para expansão da oferta de serviços ambientais em comparação com ecossistemas naturais. Isso porque as relações biofísicas de insumos e produtos nos sistemas agrícolas são mais conhecidas pelo fato de a agricultura responder mais facilmente a incentivos econômicos, além de ocupar uma vasta extensão territorial. No que se refere à pecuária, sobretudo a de bovinos de corte e de leite no Brasil, vale ressaltar que ela é realizada principalmente em pastagens. Somente na região dos Cerrados avalia-se em 49,5 milhões de ha de pastagens cultivadas em área total de 208 milhões de ha (SANO; BARCELLOS; BEZERRA, 2001). Essa região é responsável por cerca de 50% da produção de carne do país (MACEDO; ZIMMER, 2007).

Segundo Duraiappah (2006), os países em desenvolvimento fornecem diversos benefícios para o mundo, como serviços ecossistêmicos e preservação da biodiversidade. Entretanto, tais países não são compensados, o que deveria ser corrigido mediante a construção de instrumentos inovadores, como as experiências de PSA. Algumas delas utilizam a combinação de usos do solo passíveis de receberem pagamentos, incluindo agricultura e florestas, como o caso do Programa de Bacias de Nova York (LANDELLMILLS; PORRAS, 2002) e o esquema em Jesus de Otoro, Honduras (KOSOY *et al.*, 2006). Já em outros casos, apenas a agricultura conservacionista é contemplada (ANTLE; VALDIVIA, 2006). No Brasil, existem outras experiências de PSA, como a cobrança pelo uso da água, o ICMS ecológico, os bônus comercializáveis de Reserva Legal e os créditos de carbono em projetos florestais (MAY; GELUDA, 2005). Da mesma forma, mecanismos legais como os *royalties* dos recursos naturais e a isenção fiscal para RPPN são exemplos que também têm como pressuposto compensações financeiras por serviços ambientais (ANTONIAZZI; SHIROTA, 2007). O certo é que, segundo Engel, Pagiola e Wunder (2008), Pagiola e Platais (2007) e Wunder (2005), o PSA contribui para o desenvolvimento econômico e para amenizar a pobreza rural.

TIPOS DE SERVIÇOS AMBIENTAIS

Os bens ambientais são equipamentos, materiais ou tecnologias usadas para resolver algum problema ambiental ou um produto ambientalmente preferível. A maior parte dos esquemas de PSA já existentes trabalha com três grupos de serviços ambientais: proteção de bacias hidrográficas, sequestro de carbono e conservação da biodiversidade (LANDELL-MILLS; PORRAS, 2002). Entre os tipos de serviços de PSA constam:

Proteção de bacias hidrográficas

O serviço de proteção de bacias hidrográficas objetiva proporcionar água de qualidade e em quantidade regular através da implementação, sob pagamento de uma taxa, de práticas ou de atividades específicas de gestão de recursos naturais. No documento elaborado pela *Food and Agriculture Organization*, em 2004, citam-se 36 experiências com esse objetivo somente na América Latina.

O mesmo documento afirma que a maior parte dos casos visa aumentar a disponibilidade e/ou a qualidade da água para consumo humano em áreas urbanas ou para geração de energia hidroelétrica (ANTONIAZZI; SHIROTA, 2007).

De acordo com Katoomba Group e Forest Trends (2009), o serviço de proteção de bacias hidrográficas pode ser realizado das seguintes maneiras: a) restabelecendo, criando ou reforçando as áreas úmidas, para efeitos de indenização por danos ou destruição de outra área úmida; b) mantendo a cobertura florestal; c) reflorestando, com foco em espécies arbóreas específicas (nativas); d) adotando práticas de gestão do uso da terra, como agricultura ou silvicultura sustentável.

Strobel *et al.* (2007) propõem metodologia para cobrança do serviço ambiental de melhoria da qualidade da água, como aplicação do PPR presente na legislação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Já Gutierrez, Fernandes e Rauen (2017) identificaram, por meio do apontamento das aplicações dos princípios protetor-recebedor e usuário-poluidor-pagador, e da verificação da eficiência do sistema de cobrança de tarifas sobre o consumo de água, formas de atuação desses princípios na redução do consumo de água residencial em Curitiba.

No caso da agricultura como provedora de serviços para proteção de bacias, a literatura é menos extensa, mas praticamente todos os serviços prestados por florestas podem potencialmente ser obtidos em áreas agrícolas. Motta (1997) elaborou manual sobre o tema.

Sequestro de carbono

O carbono disponível nos solos, subsolos e nos oceanos estão em maior quantidade que o disponível na atmosfera. Porém, esse elemento está sempre circulando entre os ecossistemas, e quaisquer alterações nesses reservatórios naturais podem causar efeitos na concentração do carbono atmosférico (GAUDARD, 2006).

A alteração no uso do solo, principalmente pela retirada da cobertura para uso agropecuário, representa a liberação dos estoques de carbono contidos na vegetação e no solo para atmosfera, em forma de gases (FEARNSIDE, 1994). De acordo com Young (2007), há esforços para que novos mecanismos sejam criados para beneficiar o proprietário que decida manter a área com vegetação nativa, em vez de convertê-la para pecuária ou cultivo. Desses mecanismos, o mais ambicioso é a criação de créditos de biodiversidade. O dióxido de carbono (CO₂) emitido para atmosfera não é destruído, mas redistribuído entre diversos reservatórios de carbono por meio de processos químicos, físicos e biológicos. As queimadas e a decomposição de materiais orgânicos no solo compõem outra maneira de emissão de CO₂ (GAUDARD, 2006). Os outros gases causadores do efeito estufa (GEE), diferentemente do CO₂, são destruídos por ações químicas na atmosfera, porém o gás metano (CH₄), os clorofluorcarbonetos (CFC), os perfluorcarbonetos (PFC) e os hidrofluorcarbonos (HFC) e outras formas em menor proporção de carbono presente na atmosfera também vêm aumentando rapidamente.

O efeito conjunto de tais gases pode vir a causar aumento da temperatura global estimado entre 2°C e 6°C nos próximos 100 anos (JACOVINE *et al.*, 2008).

Quantificar a biomassa de determinada área selecionada é requisito básico para promover projetos que tenham como objetivo a obtenção de certificados de crédito de carbono. O inventário quantifica, por meio do volume da biomassa, o armazenamento de carbono em diferentes depósitos presentes em distintas áreas de matas (SOUZA, 2010).

As florestas e matas nativas são gigantescos reservatórios dinâmicos de carbono (C), que pode ser liberado gradualmente na atmosfera por meio da combinada ação do desmatamento e da perda de carbono do solo, devido às mudanças no uso da terra e ao impacto das alterações climáticas (NOGUEIRA *et al.*, 2008). A extração desordenada de recursos naturais das florestas tem forte influência nos estoques de carbono do solo (FEARNSIDE, 1994).

Com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto em 2005, o mercado internacional de carbono passou a ser realidade jurídica e prática. Além desse mercado, outros mecanismos (voluntários e paralelos) têm gerado oportunidades para complementar a receita proveniente da preservação de florestas, por meio da renda derivada de certificados de créditos de carbono (TITO; LEÓN; PORRO, 2009).

Segundo Pearson, Brown e Birdsey (2007), são quatro os procedimentos básicos para o planejamento de medições em campo de biomassa e carbono orgânico: a) definição da área de abrangência do projeto; b) estratificação da área do projeto; c) decisão sobre quais depósitos de carbono medir; d) determinação do tipo e número de parcelas de amostragem.

O agronegócio de produtos florestais tem participação pronunciada em países em desenvolvimento, especialmente o Brasil, no que tange ao sequestro de carbono. Podem-se citar duas empresas de produção de papel e celulose com forte atuação no Brasil: Klabin e *International Paper* (FGV, 2002). Para Souza e Azevedo (2005), essas empresas, além de participarem do mercado de crédito de carbono, podem capitalizar o efeito da imagem de responsabilidade social junto aos consumidores de papel.

No Quadro 2, encontram-se algumas abordagens básicas acerca do sequestro de carbono e da conservação nos trópicos.

QUADRO 2
SEQUESTRO E CONSERVAÇÃO DE CARBONO NOS TRÓPICOS

ABORDAGEM	SEQUESTRO OU CONSERVAÇÃO (CO ₂)	PERÍODO	TAXA DE ACUMULAÇÃO
Plantações (espécies de rápido crescimento)	100 - 200 tco ₂ /ha	10-20 anos	10 tco ₂ /ha/anos
Silvicultura	90 - 150 tco ₂ /ha	5-20 anos	4,5 - 30 tco ₂ /ha/anos
Conservação (florestas tropicais)	300 - 600 tco ₂ /ha	Estático	Estático

Fonte: Adaptado de Butcher *et al.* (1998).

Segundo Bezerra, Manfrinato e Miranda (2005), a cadeia de comércio de carbono tem como principais agentes: compradores, vendedores, agentes intermediários e financiadores. Tais agentes de mercado são empresas públicas ou privadas que perceberam nas mudanças climáticas uma oportunidade de negócios.

Serviços de proteção ao solo

De acordo com Katoomba Group e Forest Trends (2009), os serviços de proteção ao solo servem para proporcionar solo intacto e saudável e oferecer a realização de atividades específicas de gestão da terra e do solo.

Esses serviços podem ser realizados da seguinte maneira: a) usando de cobertura florestal para minimizar a erosão do solo e a perda de nutrientes; b) implementando técnicas agrícolas sustentáveis e/ou de precisão para evitar a aplicação excessiva de fertilizantes e outros nutrientes; c) mudando para práticas agrícolas alternativas, tais como a conservação de cultivo ou a proteção de canais naturais para prevenir a erosão do solo e a manutenção da saúde e da fertilidade do solo.

Ao realizar esses procedimentos, evita-se a perda de solo através de escoamento superficial; mantêm-se solos saudáveis e minimiza-se a necessidade de aplicar fertilizantes e pesticidas como também reduz-se a salinidade do solo. Isso pode ser medido considerando as taxas de erosão do solo.

Proteção da biodiversidade

O serviço de proteção da biodiversidade objetiva proteger o habitat de espécies ou impedir um habitat de ser fragmentado de forma que limite a capacidade das espécies para utilizá-lo plenamente. No Quadro 3, apresentam-se tipos de pagamento desse serviço.

QUADRO 3

TIPOS DE PAGAMENTOS POR PROTEÇÃO DE BIODIVERSIDADE

TIPOS DE PAGAMENTO	SERVIÇOS
Compra de habitat de alto valor	<ul style="list-style-type: none"> - Aquisição de terras privadas (aquisição feita por compradores privados ou ONGs explicitamente para conservação da biodiversidade); - Aquisição de terras públicas (aquisição feita por um órgão governamental explicitamente para conservação da biodiversidade).
Pagamento de acesso a espécies ou habitat	<ul style="list-style-type: none"> - Direitos de bioprospecção (direitos para coletar, testar e utilizar o material genético das áreas designadas); - Licenças para pesquisa (direitos para coletar espécimes e fazer medições nas áreas designadas); - Caça, pesca ou autorização para coleta de espécies selvagens; - Uso para ecoturismo (direito a entrar na área, observar a vida selvagem, fazer acampamento ou caminhada).
Pagamento por práticas de gestão de conservação da biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Servidores de conservação (proprietário é pago para usar e gerenciar pedaço de terra determinado apenas para fins de conservação; as restrições são geralmente perpétuas e transferíveis em caso de venda da terra);

(continua)

TIPOS DE PAGAMENTO	SERVIÇOS
Pagamento por práticas de gestão de conservação da biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Arrendamento de terras para conservação (proprietário é pago para usar e gerenciar um pedaço determinado de terra para fins de conservação, por um período de tempo definido); - Concessão para conservação (órgão florestal público é pago para manter uma área definida e sob usos de conservação; comparável a uma concessão florestal madeireira); - Concessão comunitária em áreas públicas protegidas (a indivíduos ou comunidades são atribuídos direitos de utilização de uma determinada área de floresta ou pastagens, em troca de um compromisso de proteger a área de práticas que prejudicam a biodiversidade); - Gestão de contratos para a conservação de habitats ou espécies em fazendas particulares, florestas, ou pastagens (contrato que detalha as atividades de gestão a biodiversidade, e os pagamentos ligados à realização dos objetivos especificados).
Direitos intercambiáveis sob regulação de limite e negocie	<ul style="list-style-type: none"> - Créditos de mitigação de áreas úmidas negociáveis (créditos de conservação das áreas úmidas ou de restauração que podem ser utilizados para compensar as obrigações dos fomentadores para manter uma área mínima de zonas úmidas naturais numa determinada região); - Direitos de desenvolvimento negociáveis (direitos atribuídos para desenvolver apenas uma área total limitada de habitat natural dentro de uma determinada região); - Créditos de biodiversidade negociáveis (créditos representando áreas de proteção ou manutenção da biodiversidade, que podem ser comprados por fomentadores para garantir que estes cumpram um padrão mínimo de proteção da biodiversidade).
Apoio a negócios de conservação de biodiversidade	<ul style="list-style-type: none"> - Participação em empresas que investem na conservação da biodiversidade; - Produtos que respeitam a biodiversidade (eco etiquetado).

(conclusão)

Fonte: Adaptado de Katoomba Group e Forest Trends (2009, p. 6).

Conforme Katoomba Group e Forest Trends (2009), os pagamentos aconteceriam pelas seguintes ações:

- criar corredores biológicos entre as áreas protegidas;
- criar novas áreas protegidas ou fortalecer áreas já protegidas ineficazmente;
- replantar áreas degradadas com espécies nativas e/ou remover espécies exóticas invasoras;
- manter o solo saudável, minimizando fertilizantes e pesticidas;
- gerir a biodiversidade e a qualidade dos produtos agrícolas;
- garantir antiparasitas, polinização e proteger os recursos genéticos ou principais habitats;
- iniciar atividades de conservação fora da área do projeto.

Devido à complexidade e à expansividade da biodiversidade, não há forma única – acordada por todos – de realizar essas ações. Por essa razão, biólogos utilizam diversas metodologias para avaliação da biodiversidade em toda a sua estrutura (tipo e quantidade de espécies) e níveis de funcionamento (serviços ambientais). Dois exemplos de trabalho atual para medir a biodiversidade:

1. Um grupo de especialistas e profissionais, liderados pela *Forest Trends* e pela *Conservation International* no Programa de Compensações para os Negócios e a Biodiversidade, está fazendo trabalho inovador sobre o desenvolvimento de metodologias de melhores práticas de compensação de biodiversidade, o que inclui técnicas de avaliação da biodiversidade (FOREST TRENDS, 2011).
2. O *Landscape Measures Resource Center (LMRC)* ajuda no desenvolvimento de métodos e indicadores de avaliação que são apropriados de acordo com o contexto local. Esses métodos avaliam conjuntamente a conservação da biodiversidade, a produção sustentável e a subsistência rural. O LMRC é ferramenta de web interativa que reúne os métodos e experiências de todo o mundo. Em última instância, no entanto, a métrica usada numa transação de biodiversidade específica é acordada pelas partes na operação (FOREST TRENDS, 2011).

A utilização de métodos participativos para entender e avaliar situações rurais e planejar o desenvolvimento de comunidades torna-se importante ferramenta no manejo dos recursos naturais e desenvolvimento rural sustentável (COELHO, 2005).

Segundo Marques e Comune (1997), é necessário valorar corretamente os bens e serviços do meio ambiente, entendidos no desempenho de suas funções (provisão de matérias-primas, capacidade de assimilação de resíduos, estética e recreação, biodiversidade, regulação dos ciclos naturais) para se integrarem esses valores, apropriadamente estimados, às decisões sobre a política econômica e ambiental e aos cálculos das contas econômicas nacionais.

Muitos dos esquemas de PSA para agricultura incluem contratos de boas práticas agrícolas (BPA), que podem incorporar diferentes determinações, dependendo do objetivo. Esses contratos são negociados entre os proprietários de terras (a montante) e os beneficiários (a jusante) de bacias, estabelecendo práticas de manejo em troca de pagamentos (LANDELL-MILLS; PORRAS, 2002).

As BPAs podem ser definidas como práticas que minimizam o efeito nocivo ao ambiente, sem sacrificar a produtividade econômica. São agrupadas em três grandes grupos: (1) redução do uso de insumos (fertilizantes, esterco e químicos), (2) controle da erosão e do *runoff*, (3) zonas de vegetação para proteção (HILLIARD; REEDIK, 2000). Em diversas partes do mundo, BPAs são usadas tanto em esquemas de PSA como em diversos programas governamentais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PSA é instrumento que tenta solucionar os problemas ambientais, utilizando ferramentas de valoração para que o produtor rural decida preservar e conservar o meio ambiente. A conscientização da importância desse instrumento é fundamental ao desenvolvimento sustentável, em que se associam ganhos econômicos e benefícios ambientais.

Os investimentos ainda são limitados. Apesar de se constituir atividade relativamente nova, a indústria de bens e serviços ambientais possui forte potencial de crescimento no país em várias áreas, oferecendo mercado diversificado. Sendo assim, profissionais da área do agronegócio deverão buscar tecnologias sistêmicas de PSA com o aumento da produtividade.

O fortalecimento do PSA no Brasil tende a gerar novas oportunidades em termos ambientais e econômicos. Reconhecer a importância econômica e ambiental desse setor no país e concretizar esses possíveis ganhos exige o fortalecimento das capacitações institucionais, das organizações das redes de informação, dos programas de acesso à tecnologia, das parcerias entre indústria e universidade para o desenvolvimento de pesquisas, do apoio do governo à pequenas e médias empresas a programas de exportação.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, Alexandre. Pagamento por serviços ambientais: aspectos jurídicos para a sua aplicação no Brasil. *In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 14.; CONGRESSO NACIONAL DE DIREITO AMBIENTAL, 15., 2010, São Paulo. [Anais] [...]. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2010. v. 1, p. 3–16. Disponível em: http://www.planeta-verde.org/artigos/arq_12_51_43_26_10_10.pdf. Acesso em: 31 out. 2011.*
- ANDRADE, Daniel C.; FASIABEN, Maria do Carmo R. A utilização dos instrumentos de política ambiental para a preservação do meio ambiente: o caso dos pagamentos por serviços ecossistêmicos (PSE). *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 8., 2009, Cuiabá. Anais [...]. Cuiabá, 2009. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25894/1/GT4-1-129-20090617004434-1.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2011.*
- ANDRADE, João Paulo S. *A implantação do pagamento por serviços ecossistêmicos no Território Portal da Amazônia: uma análise econômico-ecológica. 2007. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.*
- ANTLE, John M.; VALDIVIA, Roberto O. Modelling the supply of ecosystem services from agriculture: a minimum-data approach. *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, Hoboken, v. 50, n. 1, p. 1–15, 2006. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/6506917.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2016.
- ANTONIAZZI, Laura B.; SHIROTA, Ricardo. Pagamentos por serviços ambientais da agricultura para proteção de bacias hidrográficas. *In: CONGRESSO DA SOBER: CONHECIMENTOS PARA AGRICULTURA DO FUTURO, 45., 2007, Londrina. Anais [...]. Brasília: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007.*
- BEZERRA, Maíra O.; MANFRINATO, Warwick A.; MIRANDA, Silvia Helena G. Estado da arte sobre mercados de carbono: contratos futuros e contratos de opções – evoluções e diretrizes. *In: CONGRESSO DA SOBER: INSTITUIÇÕES, EFICIÊNCIA, GESTÃO E CONTRATOS NO SISTEMA AGROINDUSTRIAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. Anais [...]. Brasília: Sociedade Brasileira de Sociologia e Economia Rural, 2005.*

- BUTCHER, P. N.; HOWARD, J. M.; REGETZ, J. S.; SEMMENS, Brice X.; VINCENT, Mark A.; DENNING, A. S.; KELLER, A. A. *Evaluating the carbon sequestration potential of tropical forests*. Thesis (Masters in Environmental Science and Management) – University of California, Santa Barbara, 1998.
- COELHO, France Maria G. *A arte das orientações técnicas no campo: concepções e métodos*. Viçosa: UFV, 2005.
- DURAIAPPAH, Anantha K. *Market for ecosystem services: a potential tool for multilateral environmental agreements*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development, 2006.
- DURIGAN, Giselda. O futuro do cerrado mediante o Código Florestal. *Ciência e Cultura, Campinas*, v. 62, n. 4, p. 4–5, 2010. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009672520100004. Acesso em: 3 jul. 2011.
- ENGEL, Stefanie; PAGIOLA, Stefano; WUNDER, Sven. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*, Amsterdam, v. 65, n. 4, p. 663–674, 2008.
- FEARNSIDE, Philip M. Biomassa das florestas amazônicas brasileiras. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1994, Rio de Janeiro. *Anais [...]*. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 95–124.
- FGV (Fundação Getúlio Vargas). *O mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL: guia de orientação*. Rio de Janeiro: FGV, 2002.
- FOREST TRENDS. *Business and biodiversity offsets programme*. Disponível em: <http://www.forest-trends.org/biodiversityoffsetsprogram>. Acesso em: 25 out. 2011.
- GAUDARD, Denise de Mattos. Agenda 21: o ciclo do carbono e o efeito estufa. *Terrazul*, Fortaleza, 8 jul. 2006. Disponível em: <http://www.terrazul.m2014.net/spip.php?article414> Acesso em: 9 set. 2011.
- GELUDA, Leonardo; YOUNG, Carlos E. F. Pagamentos por serviços ecossistêmicos previstos na Lei do SNUC: teoria, potencialidades e relevância. In: SIMPÓSIO DE ÁREAS PROTEGIDAS, 3., 2005, Pelotas. *Anais [...]*. Pelotas: UCPEL, 2005. p. 572–579. Disponível em: <https://bab.empreendedor-academico.com.br/wp-content/uploads/2018/05/Anais-III-SAP.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- GUTIERREZ, Raffaella L.; FERNANDES, Valdir; RAUEN, William B. Princípios protetor-recebedor e poluidor-pagador como instrumentos de incentivo à redução do consumo de água residencial no município de Curitiba (PR). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 5, p. 899–909, 2017.
- HERNANDEZ, Manoela I. O que é pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e como ele funciona? *Portal Ecycle*, 2017. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/4799-pagamento-por-servicos-ambientais.html>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- HILLIARD, C.; REEDIK, S. *Agricultural best management practices*. [Ottawa]: Agriculture and Agri-Food Canada, 2000. Disponível em: <http://www.agr.gc.ca/pfra/water/facts/agribtme.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2011.
- JACOVINE, Laércio A. G.; SOARES, Carlos Pedro B.; RIBEIRO, Sabina C.; SILVA, Rodrigo F.; PAIXÃO, Fausto A. Sequestro de carbono em povoamentos florestais de eucalipto e a geração de créditos de carbono. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 29, n. 242, p. 98–113, 2008.
- KATOOMBA GROUP; FOREST TRENDS. *Pagamentos por serviços ambientais: um manual sobre como iniciar*. 2009. Disponível em: http://www.katoombagroup.org/documents/events/event33/Pagamentos_por_Servicios_

[Ambientais.pdf](#). Acesso em: 23 out. 2011.

KIERSCH, Benjamin. Pago por servicios ambientales em manejo de cuencas: el debate continua. *Revista Electrónica de la Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo de Cuencas Hidrográficas*, ano 2, n. 1, p. 5, 2005.

KOSOY, Nicolas; MARTINEZ-TUNA, Miguel; MURADIAN, Roldan; MARTINEZ-ALIER, Joan. Payments for environmental services in watersheds: insights from a comparative study of three cases in Central America. *Ecological Economics*, Amsterdam, v. 61, n. 2-3, p. 446-455, 2006.

LANDELL-MILLS, Natasha; PORRAS, Ina T. *Silver bullet or fools' gold? A global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor*. London: International Institute for Environment and Development, 2002.

LANGLEY, Sherri. The system of protected areas in the United States. In: BENJAMIN, Antônio H. (coord.). *Direito ambiental das áreas protegidas: o regime jurídico das unidades de conservação*. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2001. p. 116-163.

LUSTOSA, Maria Cecília J.; CÁNEPA, Eugenio M.; YOUNG, Carlos E. F. Política ambiental. In: MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria Cecília J., VINHA, Valéria da (org.). *Economia do meio ambiente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p.135-154.

MACEDO, Manuel C. M.; ZIMMER, Ademir H. Sistemas integrados de lavoura-pecuária na região dos Cerrados do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL EM INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, 2007, Curitiba. *Anais [...]*. Curitiba: UFPR; Porto Alegre: UFRGS, 2007.

MARQUES, João F.; COMUNE, Antônio E. A teoria neoclássica e a valoração ambiental. In: ROMEIRO, Ademar R.; REYDON, Bastiaan; LEONARDI, Maria Lucia Azevedo. *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão*

de espaços regionais. Campinas: Unicamp, 1997. p.21-42.

MARTINS, Rodrigo C.; VALENCIO, Norma Felicidade L. da S. Valoração dos recursos hídricos e impasse socioambiental na agricultura paulista: alguns desafios para a gestão de políticas públicas. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 33, n. 10, out., 2003.

MAY, Peter H.; GELUDA, Leonardo. Pagamentos por Serviços Ecosistêmicos para manutenção de práticas agrícolas sustentáveis em microbacias do norte e noroeste do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 6., 2005, Brasília. *Anais [...]*. Uberlândia: Ecoeco, 2005. p. 1-25.

MAYRAND, Karel; PAQUIN, Marc. *Pago por servicios ambientales: estudio y evaluación de esquemas vigentes*. Montreal: Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA): Unisféra, 2004.

MOTTA, Ronaldo S. da. *Manual para valorização econômica de recursos ambientais*. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

MOTTA, Ronaldo S. da; MENDES, Francisco E. Instrumentos econômicos na gestão ambiental: aspectos teóricos e de implementação. In: RIBEIRO, Ademar R.; REYDON, Bastiaan P.; LEONARDI, Maria Lucia A. *Economia do meio ambiente: teoria, políticas e gestão de espaços regionais*. Campinas: Instituto de Economia/Unicamp, 2001. p. 127-152.

NOGUEIRA, Euler M.; FEARNESIDE, Philip M.; NELSON, Bruce W.; BARBOSA, Reinaldo I.; KEIZER, Edwin W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest, Ecology and Management*, Amsterdam, v.256, n. 11, p.1853-1867, 2008.

PAGIOLA, Stefano; BISHOP, Joshua; LANDELL-MILLS, Natasha. *Selling forest environmen-*

- tal services: market based mechanisms for forest conservation and development.* Londres: Earthscan, 2002.
- PAGIOLA, Stefano; PLATAIS, Gunars. *Payment for environmental services: from theory to practice.* Washington: World Bank, 2007.
- PEARSON, Timothy R. H.; BROWN, Sandra L.; BIRDSEY, Richard A. *Measurement guidelines for the protetor-recebedor: estudo de caso do Parque Estadual dos Três Picos.* Rio de Janeiro: Critical Ecosystem Partnership Fund, 2007.
- RIBEIRO, Maurício A. O princípio protetor recebedor para preservar um bem natural. *Revista Eco 21*, Rio de Janeiro, v. 78, 2013. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=495#:~:text=O%20Princ%C3%ADpio%20Protetor%2DRecebedor%20postula,servi%C3%A7o%20de%20prote%C3%A7%C3%A3o%20ambiental%20prestado>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- ROMSTAD, Eirik. Methodologies for agri-environmental policy design. In: BROUER, Floor (ed.). *Sustaining agriculture and the rural environment: governance, policy and multifunctionality.* Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2004. p. 56–79.
- SANO, Edson E.; BARCELLOS, Alexandre O.; BEZERRA, Heleno S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian Savanna. *Pasturas Tropicales*, Cali, v.22, n.3, p.2–15, 2001.
- SOUZA, Maria Tereza U. *Project Design Document (PDD).* Goiânia: Programa Brasil Mata Viva, 2010.
- SOUZA, Zilmar José de; AZEVEDO, Paulo Furquim de. O mercado de crédito de carbono: as características dos *first-movers* e implicações para o agronegócio. In: CONGRESSO DA SOBER: INSTITUIÇÕES, EFICIÊNCIA, GESTÃO E CONTRATOS NO SISTEMA AGROINDUSTRIAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. *Anais [...]* Brasília: Sociedade Brasileira de Sociologia e Economia Rural, 2005.
- STANTON, Marcia; TEJEIRO, Guillermo. *Sistemas estaduais de pagamento por serviços ambientais: diagnóstico, lições aprendidas e desafios para a futura legislação.* São Paulo: Instituto o Direito por um Planeta Verde, 2014. Disponível em: http://www.planetaverde.org/arquivos/biblioteca/arquivo_20140803210828_2797.pdf. Acesso em: 4 jan. 2018.
- STROBEL, Juliana S.; SOUZA JÚNIOR, Wilson C.; SEROA DA MOTTA, Ronaldo; AMEND, Marcos R.; GONCALVEZ, Demerval A. *Crítérios econômicos para a aplicação do princípio do protetor-recebedor: estudo de caso do Parque Estadual do Três Picos.* Lagoa Santa: Conservation Strategy Fund, 2007. Disponível em: https://www.conservation-strategy.org/sites/default/files/field-file/11_PES_Tres_Picos.pdf. Acesso em: 10 abr. 2017.
- SWINTON, Scott M.; LUPI, Frank; ROBERTSON, G. Philip; LANDIS, Doug A. Ecosystem services from agriculture: looking beyond the usual suspects. *American Journal of Agricultural Economics*, Hoboken, v.88, n.5, p.1160–1166, 2006.
- TITO, Marcos R.; LEÓN, Mario C.; PORRO, Roberto. *Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais.* Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF): Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 2009.
- VASCONCELOS, Pedro G. *Subsídios para o desenvolvimento econômico a partir do conhecimento sobre Serviços Ecossistêmicos e a Biodiversidade na Flota Amapá.* Macapá: Governo do Estado do Amapá; Paris: Grupo de Pesquisa e Intercâmbios Tecnológicos (GRET), 2017. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/143-economia-dos-ecossistemas-e-da-biodiversidade> Acesso em: 24 jan. 2018.
- VATN, Arild. Payment for environmental services: an institutional analysis. In: BIENNIAL INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS CONFERENCE: APPLYING ECOLO-

GICAL ECONOMICS FOR SOCIAL AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY, 10., 2008, Nairobi. [Proceedings] [...]. Nairóbi: ISEE, 2008.

VIEXAMERICAS. *Conferência Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA*. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.adami.adv.br/eventos/DraftPSA.pdf>. Acesso em: 2 out. 2011.

VILAR, Mariana B.; OLIVEIRA, Ana Carolina C.; JACOVINE, Laércio Antônio G.; FERREIRA, Matheus G.; SOUZA, Agostinho L. Valoração ambiental de propriedades rurais de municí-

pios da bacia hidrográfica do Rio Xopotá/MG. *Cerne*, Lavras, v. 16, n. 4, p. 539–546, 2010.

WUNDER, Sven. *Payments for environment services: some nuts and bolts*. Jakarta: Center for International Forestry Research, 2005. Disponível em: https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf. Acesso em: 25 ago. 2011.

YOUNG, Carlos E. F. Sustentabilidade e competitividade: o papel das empresas. *Revista de Economia Mackenzie*, São Paulo, v.5, n.5. p.87–101, 2007.



Uso do solo e recursos hídricos: buscando alternativas sustentáveis de manejo

RICARDO FERNANDES DE SOUSA

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.”

(artigo 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988)

A disponibilidade de água de boa qualidade e em quantidade suficiente para atendimento das necessidades humanas é uma questão que, embora tenha importância especial, não pode ser considerada de forma isolada, pois está intimamente relacionada a inúmeros fatores naturais, econômicos e socioambientais. Dentre os fatores socioambientais podemos destacar a necessidade de proteger e preservar os mananciais de águas superficiais, como nascentes, cursos d'água e áreas úmidas, e a vegetação associada a eles, bem como de adequar o uso e o manejo dos solos presentes nos seus arredores.

A interferência humana nos processos hidrológicos e ecológicos naturais frequentemente gera distúrbios e desequilíbrios que podem reduzir a vazão dos mananciais ou degradar a qualidade da água, comprometendo a sua disponibilidade. Desmatamento, erosão, assoreamento, compactação do solo, além de poluição por lixo, esgoto, fertilizantes e pesticidas, são exemplos de agressões ambientais comuns nos espaços rurais e urbanos, com efeitos extremamente danosos aos ecossistemas. Deve-se notar que, nas últimas quatro décadas, certamente ocorreram grandes mudanças na forma de ocupação e uso do solo em diversas localidades brasileiras e um expressivo aumento do consumo de água tanto nas áreas urbanas quanto nas rurais, devido ao crescimento da população e à consequente intensificação das atividades agropecuárias.

Nesse cenário, é muito importante conhecer como a utilização das terras pode afetar a disponibilidade e a qualidade das águas, para que se possam definir as estratégias de uso e conservação mais adequadas para os solos e os recursos hídricos. Tendo em vista essa demanda, este texto objetiva reunir e apresentar informações fundamentais e relevantes sobre o uso agropecuário do solo e sobre sua correlação com a degradação dos mananciais de água superficiais, assim como apontar algumas alternativas para a conservação desses mananciais, especialmente na região do Cerrado brasileiro.

O CICLO HIDROLÓGICO E O SOLO

O ciclo hidrológico é constituído por um conjunto de processos relativos à movimentação e às mudanças de estado físico da água no ambiente, transitando entre os continentes, os oceanos e a atmosfera. Pode ser considerado como o modelo pelo qual se representam a interdependência e o movimento contínuo da água nas fases sólida, líquida e gasosa, sendo que, no estado líquido, a água é fundamental para o uso e a satisfação das necessidades humanas e para a sobrevivência de todos os tipos de organismos (TUNDISI, 2003).

As fases do ciclo hidrológico comumente mencionadas são a evaporação e a evapotranspiração, a condensação e a formação de nuvens, a precipitação, a interceptação pela vegetação, a infiltração, o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo ou subsuperficial. Deve-se observar que três dos estágios referidos ocorrem diretamente no solo (infiltração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo), o que denota a importância desse recurso ambiental no ciclo da água, visto que ele tem um expressivo papel na dinâmica hídrica no ambiente, atuando fundamentalmente como “reservatório e filtro” e possibilitando a formação das nascentes ou fontes, além de outros corpos d’água.

A ÁGUA NO SOLO

A infiltração é fundamental no processo de formação de nascentes e outros mananciais, demonstrando estreita relação com as características do terreno e com suas formas de uso e práticas de manejo. Parte da água da chuva escoa pela superfície e outra parte se infiltra no solo, onde se distinguem duas zonas: a não saturada – também denominada subsaturada, vadosa ou zona de aeração – e, abaixo dela, a zona saturada – assim chamada porque nela todos os poros do solo estão preenchidos com água. Essas duas zonas acham-se separadas pela superfície freática, designada ainda como lençol freático ou nível hidrostático. Nesse campo, o termo *água subterrânea* é genericamente empregado para a água que está situada em posição inferior à superfície freática (GROTZINGER; JORDAN, 2013; LEINZ; AMARAL, 2003).

A taxa de infiltração de água em um determinado solo depende do balanço de diversas variáveis que afetam esse processo, como porosidade, textura, estrutura e estabilidade dos agregados do solo, cobertura vegetal e presença e teores de matéria orgânica. O volume e a velocidade de infiltração dependem também de fatores como o tipo e condições dos materiais terrestres, topografia, precipitação e formas de uso e manejo do solo (BRANDÃO; PRUSKI; SILVA, 2003; GUERRA, 1999; KARMANN, 2009).

Verifica-se que, na época das chuvas (períodos de recarga), parte da precipitação se infiltra no solo, realimentando o depósito de água subterrânea, em vez de escoar diretamente pela superfície de uma bacia hidrográfica. Já nos períodos de estiagem, o escoamento das fontes e dos cursos d'água é alimentado pela água subterrânea. Em solos com boa capacidade de infiltração, o fluxo subterrâneo pode alimentar os cursos d'água (canais abertos) durante longos períodos de estiagem, de forma que tal reservatório constitui importante fonte para atender às demandas das atividades humanas em ambientes urbanos e agropecuários, merecendo atenção especial dos planejadores e dos gestores responsáveis pelo uso dos recursos hídricos (COELHO NETTO, 2003; COLLISCHONN; TASSI, 2008; KARMANN, 2009).

Outro aspecto a considerar é o fato de que, além de infiltrar, a água da chuva pode seguir outro caminho, escoando pela superfície do solo. Desse modo, quando a água precipitada já preencheu as pequenas depressões e irregularidades da superfície, ao mesmo tempo que as capacidades de retenção pela vegetação e de infiltração do solo foram superadas, tem início o escoamento superficial, com a água escorrendo das partes mais elevadas para as mais baixas do relevo (CASTRO; LIMA; LOPES, 2007; COLLISCHONN; TASSI, 2008). Deve-se destacar que a vazão das nascentes e cursos d'água, proveniente do retorno da água subterrânea à superfície, também compõe o escoamento.

O processo de infiltração possibilita o armazenamento de água no solo e o abastecimento (recarga) dos lençóis subterrâneos, sendo, por isso, importante para a manutenção da vazão e da regularidade do fluxo de água nos mananciais de superfície (nascentes e cursos d'água). A ocupação e o uso do solo nas áreas de recarga podem diminuir a infiltração em função da remoção da cobertura vegetal, do encrostamento superficial e da compactação e/ou impermeabilização do solo, ocasionados pelo processo geral de urbanização e, nas áreas rurais, pelo trânsito de veículos e máquinas agrícolas, pelo pisoteio dos rebanhos e pelo revolvimento do solo e por sua exposição, com adoção de práticas de manejo inadequadas e não conservacionistas.

A diminuição da infiltração implica maior escoamento superficial, o que pode desencadear processos erosivos. Alterações expressivas na dinâmica de infiltração e escoamento podem comprometer a disponibilidade de recursos hídricos para uso nas atividades humanas e perturbar o ciclo natural da água no ambiente (BAKER; MILLER, 2013), acarretando até mesmo o desaparecimento de nascentes e córregos, o que vem sendo relatado em algumas localidades brasileiras, como no bioma Cerrado (BARBOSA, 2007).

MANANCIAS DE SUPERFÍCIE (NASCENTES E CURSOS D'ÁGUA) E ÁREAS DE RECARGA

O termo *manancial* é normalmente empregado para designar qualquer corpo d'água superficial ou subterrâneo que serve como fonte de abastecimento (IBGE, 2004). Os *cursos d'água* ou *canais de drenagem*, por sua vez, são definidos como corpos d'água de dimensões variadas (de pequeno, médio ou grande porte) que fluem sobre a superfície terrestre (contêm água em movimento), de modo contínuo ou periódico, sendo claramente diferenciados na paisagem (GROTZINGER; JORDAN, 2013; IBGE, 2004).

Cabe ressaltar que o nível hidrostático (lençol freático) acompanha aproximadamente a topografia do terreno. Porém, em certas circunstâncias, a superfície do terreno pode interceptar o depósito hídrico subterrâneo na região do lençol freático, ocasionando, nessa intersecção, a saída da água para a superfície e originando, assim, uma fonte ou nascente (LEINZ; AMARAL, 2003). A legislação florestal brasileira (Lei n. 12.651/2012) define *nascente* como “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água” e *olho d'água* como o “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (BRASIL, 2012a). As nascentes e cursos d'água podem ser classificados, quanto ao regime de água, em: perenes, quando apresentam fluxo de água contínuo durante todo o ano hidrológico; intermitentes, se apresentam fluxo apenas durante a estação das chuvas, ou efêmeros, nos casos em que surgem durante ou imediatamente após uma chuva, podendo permanecer por alguns dias e desaparecer em seguida (CASTRO; LIMA; LOPES, 2007; FERNANDES NETO *et al.*, 2015; MATOS; SILVA, PRUSKI, 2003).

O entorno das nascentes, as faixas marginais dos cursos d'água e as chamadas áreas de recarga também são muito importantes para o abastecimento dos depósitos de água subterrânea que vão originar as fontes. As *áreas* ou *zonas de recarga* correspondem aos solos profundos e permeáveis localizados em áreas de relevo suave, que são fundamentais para o reabastecimento dos lençóis freáticos (SOUZA; FERNANDES, 2000), com influência direta sobre a vazão de escoamento dos mananciais próximos. Devem-se evitar a ocupação e o uso agropecuário dessas áreas ou, não sendo possível a sua plena preservação, devem-se adotar medidas eficientes de conservação do solo e da água, de modo a prevenir a diminuição da infiltração e o consequente aumento da perda desse recurso natural por escoamento superficial.

DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE

O crescimento da população mundial e o desenvolvimento industrial, agrícola, econômico e tecnológico provocaram grandes mudanças no meio ambiente, afetando a água, o ar, o solo e os organismos de todo o planeta. Essas modificações, muitas vezes, tornaram as condições de vida mais difíceis – ou até mesmo inviáveis em alguns ecossistemas – para as pessoas ou para outros seres vivos. Essa situação tem causado

grande preocupação, despertando a atenção dos cientistas, das autoridades e da sociedade mundial para a chamada “degradação ambiental”.

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n. 6.938/1981) define *degradação da qualidade ambiental* como “a alteração adversa das características do meio ambiente” e *meio ambiente* como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981). A Resolução n. 1/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) considera que *impacto ambiental* seja “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas” que afetem, entre outros aspectos, a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

A segunda metade do século XX foi marcada por apreensivas e contínuas discussões em torno do uso crescente dos recursos naturais e de outras inúmeras questões ambientais, ao que está associada a popularização da expressão *desenvolvimento sustentável*. Esse conceito, apresentado, em 1987, no relatório *Nosso futuro comum* pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), foi definido como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (CMMAD, 1991). Apesar de essa noção conceitual ser frequentemente mencionada a partir do final dos anos 1980, sua aplicação concreta tem esbarrado em uma série de obstáculos de cunho econômico, político e social que dificultam a sua efetivação.

Embora o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico impliquem alterações severas nas condições ambientais, deve-se evitar colocar em risco os recursos e os sistemas naturais mais importantes, como a atmosfera, a água, os solos e os organismos (biodiversidade), e garantir condições mais estáveis e seguras para as populações humanas e todos os ecossistemas. Essas exigências apresentam-se como um novo paradigma e um desafio atual para a sociedade global sob a perspectiva de colocar em prática a tão propalada noção de sustentabilidade (CUNHA; GUERRA, 2004; GRIGGS *et al.*, 2013). Mais do que nunca, é necessário que pessoas, governos, empresas/corporações, instituições e organizações em geral assumam posturas mais sensatas, racionais e pragmáticas em relação à ocupação do meio ambiente e ao uso sustentável dos recursos ambientais.

O USO DO SOLO E A DEGRADAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

O grande aumento demográfico observado no século XX provocou a intensificação e a ampliação das atividades agropecuárias em todo o mundo, mais notadamente nas regiões tropicais, onde muitas terras foram incorporadas ao processo produtivo. Nesse cenário, a utilização das terras, com raras exceções, é realizada sem critérios de capacidade de uso e/ou aptidão agrícola, causando problemas como queda de produtividade, deslocamento de populações rurais, perda da biodiversidade, rebaixamento

do lençol freático, poluição e assoreamento de mananciais, com consequente perda ou diminuição do potencial de sustentabilidade do solo (ALVARENGA; PAULA, 2000).

As atividades antrópicas, especificamente a agropecuária, podem modificar sensivelmente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (LAL, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2010), provocando prejuízos para os ecossistemas. As práticas de uso e manejo do solo refletem sobre os recursos hídricos, comprometendo a disponibilidade e a qualidade da água em nascentes, áreas úmidas e cursos d'água. Dentre os principais fatores relacionados à degradação dos recursos hídricos podem-se destacar a poluição, a erosão, o assoreamento, o rebaixamento do nível freático e o desmatamento.

Acerca do impacto das ações antrópicas, merece destaque, no Brasil, a ocupação do Cerrado – bioma que abrange uma área correspondente a quase 25% do território brasileiro. No decorrer de três a quatro décadas (a partir dos anos 1970), uma extensa área desse bioma foi rapidamente modificada e a vegetação nativa original foi suprimida ou alterada de alguma forma, dando lugar a pastagens, plantações, estradas, reservatórios de hidrelétricas, expansão urbana etc. (Tabela 1).

TABELA 1

DISTRIBUIÇÃO TERRITORIAL (PERCENTUAL) DE CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA NO BIOMA CERRADO

CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA	KLINK E MACHADO (2005)	BEUCHLE <i>ET AL.</i> (2015)	BRASIL (2015)	MAPBIOMAS (2020)
Vegetação natural/nativa	44,5	47,0 ⁽¹⁾	54,5	53,2
Pastagens plantadas	41,6	-	29,5	30,7 ⁽²⁾
Agricultura	11,4	-	11,7	14,7 ⁽²⁾
Outras classes de uso e cobertura (incluindo urbanização)	2,5	-	4,3	1,4

(1) Vegetação natural remanescente em 2010.

(2) Atividades agropecuárias em 2019, incluindo florestas plantadas para fins comerciais.

Fonte: Elaborada pelo autor a partir de dados de Klink e Machado (2005), Beuchle *et al.* (2015), Brasil (2015) e MapBiomias (2020).

Nos últimos anos, o acelerado e intenso processo de expansão agrícola no Cerrado tem prejudicado a sua sustentabilidade, ocasionando a degradação dos recursos ambientais, como o solo, a água e a vegetação (HUNKE *et al.*, 2015; KLINK; MACHADO, 2005; SILVA *et al.*, 2001). Tanto no Cerrado quanto em outros ecossistemas do Brasil, o processo de ocupação e uso do solo nas áreas de recarga e no entorno dos corpos hídricos causa alterações que, muitas vezes, levam à degradação dos mananciais, afetando a vazão e a qualidade da água e podendo até, nos casos mais extremos, levar ao seu desaparecimento.

COBERTURA VEGETAL

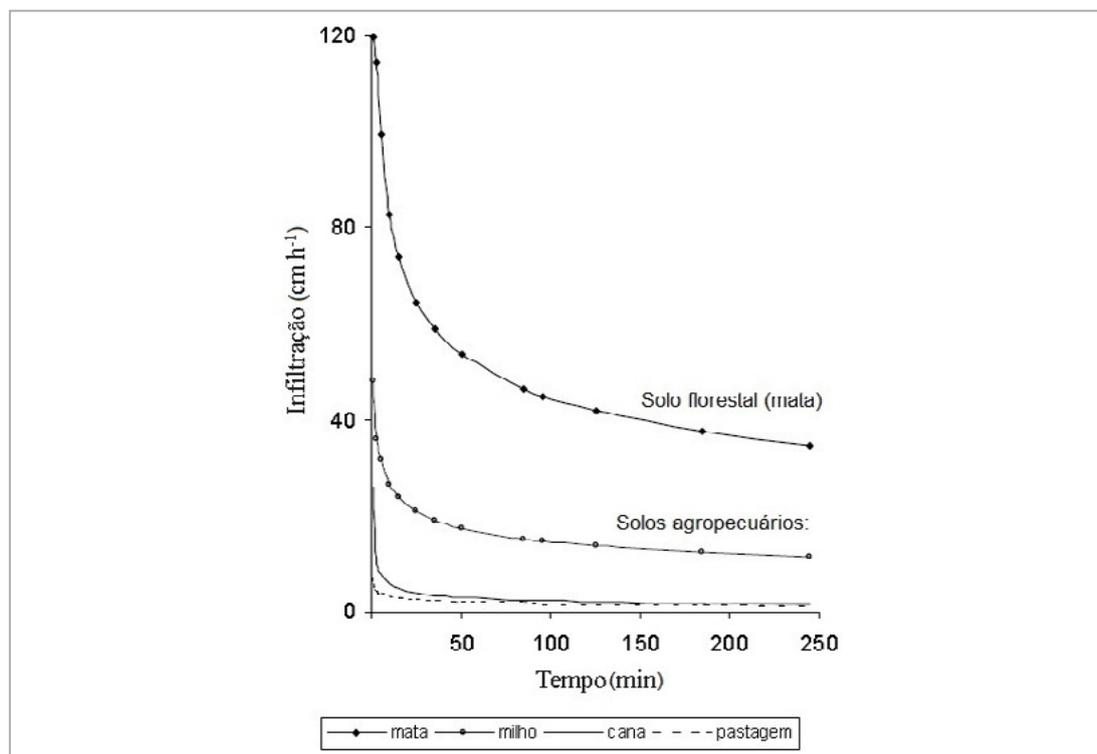
A vegetação tem importante papel no ciclo hidrológico, influenciando o comportamento da água das chuvas na superfície do solo ou nas camadas próximas a essa superfície.

Por meio do processo de interceptação, parte da precipitação é retida na própria massa vegetal (principalmente arbórea e arbustiva), que também participa diretamente da evapotranspiração e influencia a infiltração da água no solo.

Em áreas vegetadas, a infiltração é beneficiada pelas raízes, que facilitam a entrada da água e o seu movimento descendente no solo (KARMANN, 2009). O sistema radicular dos vegetais favorece a porosidade do solo, conferindo a este melhor estruturação física, estabilidade de seus agregados e aporte de matéria orgânica. Além disso, o processo natural de renovação e decomposição de raízes mortas promove a formação de canalículos e condutos que possibilitam maior movimentação de água no ambiente edáfico (DAVIDE *et al.*, 2000; SILVA FILHO, 2016).

Todos esses fatores, atuando conjuntamente, contribuem com o aumento da infiltração. Desse modo, verifica-se que a taxa de infiltração de água em solos florestados pode ser consideravelmente maior do que em áreas agrícolas ou em pastagens (CENTURION; CARDOSO; NATALE, 2001; SILVA, 2012; SILVA FILHO, 2016), como ilustrado na Figura 1.

FIGURA 1 - INFILTRAÇÃO DE ÁGUA EM SOLO TROPICAL (LATOSSOLO) SOB DIFERENTES COBERTURAS (MATA, MILHO, CANA-DE-AÇÚCAR E PASTAGEM)



Fonte: Centurion, Cardoso e Natale (2001).

Por favorecer a infiltração, a cobertura vegetal propicia maior recarga dos depósitos aquíferos subterrâneos, evitando que grandes volumes de água da chuva sejam drenados pelo leito dos cursos d'água na forma de enxurradas, o que aumenta a disponibilidade desse recurso nos períodos de estiagem. A vegetação associada a esses cursos fluviais e às nascentes possibilita a absorção da água proveniente do escoamento

superficial de áreas vizinhas, contribuindo para a redução dos processos de erosão do solo e, conseqüentemente, do assoreamento do leito de corpos d'água e mananciais (FONSECA *et al.*, 2001).

Muitas vezes, a vegetação natural que se vincula aos corpos hídricos e que está presente nos arredores das nascentes e áreas úmidas é composta por formações florestais, embora possam ocorrer também outras formas fitofisionômicas. Essa vegetação pode ser denominada por vários termos usuais, tais como matas ou florestas ciliares, de galeria, beradeiras e, ainda, formações ou matas/florestas ribeirinhas, ripárias, ripícolas etc. (ALVARENGA, 2004; KOBIYAMA, 2003).

Na região do Cerrado, considera-se que as matas de galeria são um tipo de vegetação florestal que margeia os rios de pequeno porte e córregos dos planaltos do Brasil Central, formando corredores fechados (galerias) sobre os cursos d'água, enquanto as matas ciliares são florestas que acompanham os rios de médio e grande porte na região mencionada, sem que a vegetação arbórea forme galerias. Essas fitofisionomias diferenciam-se ainda por sua composição florística e pela forma como ocorre a queda sazonal da folhagem das árvores (deciduidade), sendo esta uma característica pouco evidente ou até mesmo ausente no caso das matas de galeria (RIBEIRO; WALTER, 2008). Observa-se na literatura alguma divergência quanto à nomenclatura adotada para essas florestas. No entanto, para efeitos práticos, considerando aplicações técnicas, científicas e institucionais, os termos "mata ciliar" e "mata de galeria" tem sido empregados para definir, de forma genérica, todo tipo de formação florestal que aparece ao longo de cursos d'água e no entorno de nascentes (ALVARENGA, 2004; KOBIYAMA, 2003).

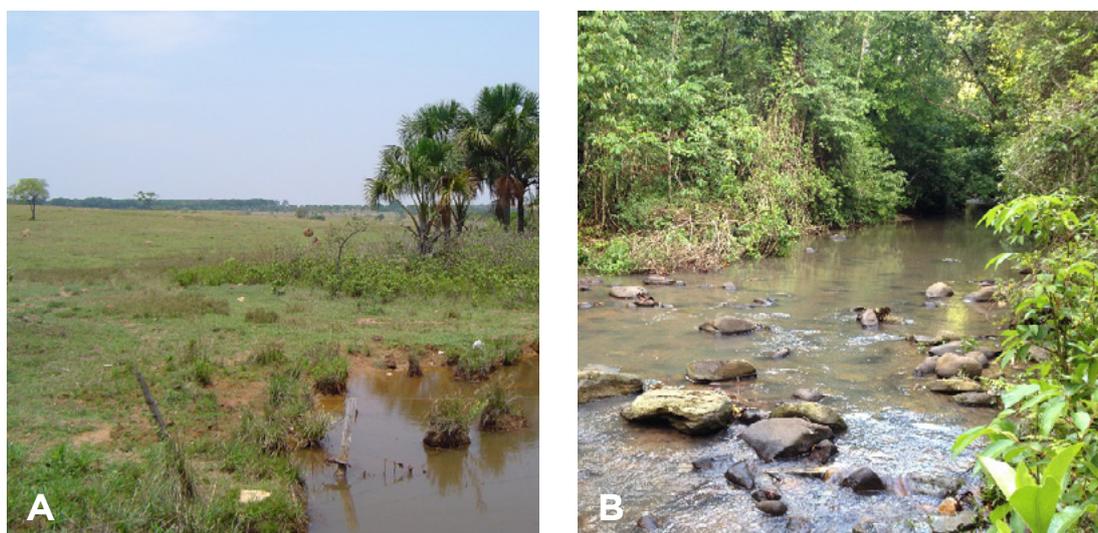
É notória a importância da cobertura vegetal como elemento necessário para a manutenção do fluxo e da qualidade da água em uma bacia hidrográfica e como fator de equilíbrio ambiental nas áreas de recarga, nas nascentes e nos cursos d'água. A vegetação ciliar tem função de tamponamento entre os corpos d'água e as áreas agrícolas vizinhas, retendo grande quantidade de sedimentos, resíduos de adubos químicos e orgânicos, nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo) e produtos tóxicos (pesticidas, por exemplo), o que evita a ocorrência de contaminação e/ou eutrofização, bem como a degradação da qualidade da água (DAVIDE *et al.*, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2010; REZENDE, 1998).

Excesso de nitrogênio e fósforo na água pode provocar eutrofização. Esse processo favorece o crescimento populacional de determinadas espécies de plantas, algas e microrganismos, que podem promover a redução dos níveis de oxigênio e a liberação de compostos tóxicos, acarretando efeitos danosos à água e ao equilíbrio dos ecossistemas, com perda de vida aquática (pela morte de organismos, como os peixes) e, ainda, diminuição da qualidade da água para consumo e uso humano (JONES; BRETT, 2014; MILLER JR., 2014).

Deve-se destacar que a cobertura vegetal de áreas ribeirinhas, do entorno de nascentes e de algumas áreas de recarga (topo de morros e serras, por exemplo) é protegida pela legislação florestal brasileira (artigos 3º e 4º da Lei n. 12.651/2012). Essa lei estabelece como áreas de preservação permanente (APP), sendo cobertas ou não por vegetação nativa, as áreas existentes nas margens dos cursos d'água naturais (perenes e intermitentes) e no entorno de nascentes, veredas, lagos, lagoas e reservatórios, entre outras, especificando, em quase todos os casos, a dimensão mínima da faixa marginal a ser preservada (BRASIL, 2012a, 2012b). Entretanto, essa legislação é frequentemente desrespeitada, o que se observa na supressão indevida da vegetação nas APP, bem como na ocupação e uso irregular dessas áreas (Figura 2A). Também merece atenção o fato de que recentes mudanças na legislação florestal flexibilizaram alguns dos parâmetros protetivos para as APP.

Em função da ocupação do solo, seja para fins de uso agropecuário, para implantação de grandes obras de infraestrutura ou para expansão urbana, as matas ripárias e outras formas de vegetação ribeirinhas ou associadas a nascentes e áreas úmidas estão, em muitos locais, sendo severamente alteradas ou suprimidas. Esse processo ameaça seriamente a estabilidade dos ecossistemas, bem como a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos destinados ao suprimento das necessidades humanas, de forma que a preservação dessa vegetação e sua restauração nos locais já degradados são essencialmente necessárias (Figura 2B).

FIGURA 2 - SITUAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DE ÁREAS PRÓXIMAS A CURSOS D'ÁGUA



Legenda:

- A. Área de nascente degradada, onde houve a completa supressão da vegetação ripária na APP para implantação de pastagem;
- B. Mata de galeria em APP, devidamente preservada em conformidade com os parâmetros protetivos da legislação florestal.

Fonte: Produzida pelo autor.

EROSÃO E ASSOREAMENTO

A degradação do solo é um problema grave que afeta diretamente os recursos hídricos, podendo acarretar grandes danos a mananciais e corpos d'água. Um dos principais fatores dessa degradação é a ocorrência de processos erosivos, que, em última instância, decorrem das práticas de uso e manejo adotadas em solos rurais, bem como da forma de ocupação praticada nas áreas urbanas.

Erosão é o processo de desagregação e arraste das partículas do solo causado pela água e pelo vento, com posterior deposição dos materiais transportados. Basicamente, quanto à origem, existem dois tipos de erosão: a erosão normal, natural ou geológica, causada pelos fenômenos naturais que modificam continuamente a crosta terrestre, e a erosão acelerada, ou erosão apenas, que decorre da interferência humana na modificação da paisagem, provocando, na maioria das vezes, a intensificação do processo erosivo (BAHIA *et al.*, 1992; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A ocorrência de erosão pode afetar a qualidade dos recursos hídricos, uma vez que os materiais do solo transportados pela água em movimento (enxurradas) chega a mananciais, reservatórios e cursos d'água, causando seu turbamento e/ou sua contaminação por resíduos diversos (WANTZEN; MOL, 2013). Esses efeitos elevam os custos do tratamento da água destinada ao abastecimento nas cidades e ao uso nas indústrias.

As partículas de solo removidas e transportadas pela água no processo erosivo são depositadas em outros locais. A deposição dessas partículas, dependendo de seu tamanho e peso, pode ocorrer em locais distantes ou próximos à sua origem, ocasionando a obstrução (assoreamento) de cursos d'água, lagos e reservatórios, ou atingindo vales e depressões em áreas vizinhas. O acúmulo desses sedimentos pode provocar, em muitos casos, até mesmo o soterramento de nascentes, áreas úmidas e córregos. Nesse sentido, o *assoreamento* pode ser definido como a obstrução de qualquer corpo d'água pelo acúmulo de material (sedimentos) de natureza mineral ou orgânica, resultando na diminuição de sua profundidade e da velocidade do fluxo de água (IBGE, 2004).

Observa-se que o uso agropecuário do solo pode desencadear a erosão e a deposição diferenciada de sedimentos (assoreamento) em áreas úmidas, nascentes e nas margens e leitos de corpos d'água situados à jusante, em locais próximos ou até mais afastados (Tabela 2), o que gera expressivo impacto sobre a qualidade do solo, com comprometimento de sua função ecológica e de filtro (MOMOLI; COOPER, 2016; SOUSA *et al.*, 2011).

TABELA 2 – TEORES DE ARGILA NO SOLO EM DIFERENTES POSIÇÕES NO RELEVO DAS VERTENTES EM ÁREAS DE NASCENTES (VEREDAS)⁽¹⁾

POSIÇÃO NO RELEVO	CONDIÇÃO DE USO DO ENTORNO DAS VEREDAS (ARGILA - DAG DM ⁻³)					
	ÁREA CONSERVADA ⁽²⁾		ÁREA AGRÍCOLA		PASTAGEM	
Porção inferior da vertente (fundo)	21,22 ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾	42,11	A	36,44	A
Porção média da vertente (meio)	50,11	A	48,56	A	52,78	A
Porção superior da vertente (borda)	55,78	A	51,44	AB	49,89	B

Notas:

(1) As nascentes estão situadas numa mesma sub-bacia hidrográfica no bioma Cerrado, em locais com diferentes condições de uso do entorno, apresentando variações texturais que indicam a movimentação e a deposição diferenciada de sedimentos minerais decorrente do uso agropecuário das terras adjacentes.

(2) Área de Preservação Permanente (coberta por vegetação nativa), mantida conforme parâmetros da legislação florestal vigente.

(3) Essas médias referem-se a amostras coletadas até 40 cm de profundidade.

(4) As letras maiúsculas comparam os usos do entorno (comparação entre médias nas linhas). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente.

Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2011).

É muito importante a adoção de medidas que visem evitar os problemas decorrentes da erosão. Com esse propósito, o controle da erosão é apenas uma parte das chamadas práticas de conservação do solo e da água (referidos também como práticas e/ou sistemas conservacionistas), cujos objetivos são aplicar técnicas e ações para controle das perdas desses recursos ambientais (solo e água), preservando a capacidade produtiva das terras (BAHIA *et al.*, 1992; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010), e cumprir suas funções ecológicas e socioambientais. Cabe mencionar, como exemplos de sistemas conservacionistas, o “plantio direto” (amplamente difundido e adotado por agricultores em diversas regiões do país, incluindo extensas áreas agrícolas no bioma Cerrado) e, mais recentemente, os “sistemas de produção integrados”, também denominados “sistemas de integração”, que envolvem atividades de agricultura (lavoura), pecuária e/ou produção florestal (plantio de árvores) em uma mesma área, com adoção de técnicas e práticas conservacionistas adequadas.

Eliminação da cobertura vegetal, sobrepastejo, mecanização intensiva e outras práticas de cultivo e manejo não conservacionistas (portanto, não sustentáveis) acarretam algumas alterações do solo que favorecem e potencializam os processos erosivos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). No caso do Cerrado, constata-se que a intensificação de sua ocupação desordenada vem provocando modificações ambientais significativas, com a aceleração desses processos e, por conseguinte, o assoreamento dos fundos de vales, o rebaixamento do lençol freático nas nascentes e a diminuição da vazão dos mananciais (BACCARO, 1999).

É importante notar que a conservação do solo se relaciona também à conservação da água, visto que a erosão pode afetar a qualidade hídrica. Deve-se lembrar, ainda, que as práticas conservacionistas, além do controle da erosão, podem diminuir o escoamento superficial e favorecer a infiltração de água, promovendo, assim, a recarga dos depósitos subterrâneos que alimentam os mananciais de superfície.

COMPACTAÇÃO E ENCROSTAMENTO DO SOLO

Emprega-se o termo *compactação do solo* para referir-se à compressão do solo não saturado, com conseqüente aumento da densidade em função da redução de seu volume, a qual se deve à expulsão de ar dos poros do solo. A principal causa desse processo de compactação é o manejo inadequado do solo (FERREIRA; DIAS JÚNIOR, 2001), o que inclui, além do pisoteio do gado, o trânsito e o uso intensos de máquinas e implementos agrícolas realizados sem os devidos cuidados (em condições de umidade inadequada, por exemplo).

O aumento da densidade do solo pode ser detectado e medido com relativa facilidade, sendo, por isso, um bom indicador de alterações na qualidade do terreno e no funcionamento edáfico do ecossistema (BRADY; WEIL, 2008). Geralmente, a compactação dificulta o crescimento radicular e o desenvolvimento dos vegetais, reduz a aeração e gera mudanças indesejáveis na dinâmica da água no solo, como a diminuição da infiltração (BRADY; WEIL, 2008; NAWAZ; BOURRIÉ; TROLARD, 2013).

Quando ocorre o preparo dos solos para o plantio, inicia-se o processo de destruição da porosidade natural, ensejando a formação de camadas compactadas (SILVA; BAHIA; BARROSO, 1992). As propriedades físicas do solo são interdependentes, de forma que, normalmente, a ocorrência de modificações em uma delas acarreta mudanças em todas as outras. Assim, uma mudança na estrutura do solo causada por seu preparo provoca mudanças na porosidade e no tamanho dos poros, bem como na infiltração, na retenção e no armazenamento de água (VIEIRA, 1985 *apud* SILVA; BAHIA; BARROSO, 1992).

Vale ressaltar que o solo exposto também está sujeito a certa compactação superficial, associada ao impacto das chuvas. Durante chuvas intensas, as gotas de água destroem os agregados estruturais expostos na superfície desprotegida, podendo, em alguns casos, ocasionar a formação de crostas superficiais endurecidas (BRADY; WEIL, 2008). Também a ação do fogo, no caso das queimadas, ocasiona várias modificações nas características físicas, químicas e biológicas do solo (REDIN *et al.*, 2011; SANTOS; BAHIA; TEIXEIRA, 1992). A queima pode promover, entre outras mudanças, a formação de crostas superficiais e alterações na porosidade, o que limita significativamente a infiltração de água no solo, aumentando o escoamento superficial e as perdas por erosão (SANTOS; BAHIA; TEIXEIRA, 1992).

A compactação e o encrostamento intensificam o escoamento superficial, contribuindo para a ocorrência de processos erosivos e diminuindo a infiltração de água no solo.

Dessa forma, interferem na recarga dos lençóis freáticos, reduzindo o volume de água armazenada nos depósitos subterrâneos que possibilitam o surgimento e a manutenção do fluxo das fontes e cursos d'água.

POLUIÇÃO

A poluição, em suas diversas formas, é uma das grandes preocupações ambientais da atualidade. Pode ser definida como toda e qualquer alteração nas características físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente (ar, água, solo, biota ou alimentos) que afete, de modo adverso, a saúde, a sobrevivência ou as atividades normais das pessoas ou de qualquer organismo vivo (MILLER JR., 2014).

A Lei n. 6.938/1981, denominada Política Nacional de Meio Ambiente, define *poluição* como:

a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. (BRASIL, 1981).

Nesse âmbito, é importante considerar também o conceito de *contaminação*, definido pela Resolução n. 420/2009 do Conama como a

presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico. (CONAMA, 2009).

No que concerne à poluição de mananciais, devem ser destacados os aspectos relacionados principalmente à poluição e/ou à contaminação do solo e da água, tanto nos leitos e arredores dos corpos hídricos quanto em suas zonas de recarga. Entre os agentes poluidores desses recursos naturais devem ser ressaltados: o descarte de resíduos sólidos (lixo), de esgoto e de dejetos humanos ou de animais de criação; a erosão e o uso intensivo de fertilizantes e pesticidas (agrotóxicos).¹

O processo erosivo também pode ser relacionado à poluição, visto que o material mais fino transportado pela enxurrada durante esse processo ocasiona problemas

1 No Brasil, o termo *agrotóxico* é uma denominação de caráter oficial (legal), prevista e definida na Lei n. 7.802/1989, também chamada Lei de Agrotóxicos. Essa designação inclui substâncias e produtos que são empregados no controle de organismos considerados nocivos e que, do ponto de vista da saúde humana, podem causar algum tipo de dano se não forem utilizados de forma adequada. No âmbito acadêmico e científico, a utilização equivalente do termo *pesticida* é amplamente difundida, notadamente em estudos publicados em língua inglesa (*pesticide*) ou espanhola (*pesticida*) (ANVISA, 2018; BRASIL, 1989; BVS/MS, 2006).

nos mananciais e cursos d'água, que podem sofrer efeitos poluidores associados à produção e ao transporte de sedimentos ou ao arraste de outras substâncias, como pesticidas e metais pesados (WANTZEN; MOL, 2013), além de fertilizantes químicos nas áreas agrícolas. Deve-se lembrar que a poluição da água por tais fertilizantes ou por agentes orgânicos, como esgotos e dejetos, pode causar a eutrofização de mananciais, reservatórios e cursos d'água, conforme mencionado em tópico anterior.

Estudos indicam que diversos agroquímicos de baixa retenção pelo solo, dependendo do modo e da intensidade de uso, podem provocar a contaminação do lençol freático se forem carregados pelas águas que infiltram nos terrenos (SOUZA; FERNANDES, 2000; HUNKE *et al.*, 2015). Fertilizantes químicos e pesticidas, bem como outras substâncias poluentes presentes no lixo ou no esgoto, por exemplo, podem contaminar o solo e as águas (de superfície e subterrâneas). Dessa forma, os mananciais podem ser poluídos tanto na superfície, por lançamento direto ou carregamento pela enxurrada, quanto através do lençol freático, nos casos em que ocorre a sua contaminação.

PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS E DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NAS ÁREAS DE RECARGA E MANANCIAIS

A interferência humana nas áreas de nascentes e no entorno dos corpos d'água, bem como nas zonas de recarga do lençol freático, quase sempre, causa um intenso processo de degradação ambiental que afeta diretamente os recursos hídricos. Essa degradação é resultado das várias formas de impactos observados nessas áreas, podendo-se destacar os que foram discutidos anteriormente: desmatamento, erosão, assoreamento, compactação e encrostamento do solo, queimadas, poluição e contaminação ambiental. É muito importante a adoção de medidas para prevenir ou mitigar os efeitos adversos desses impactos ambientais, ou para recuperar as áreas degradadas. As ações implementadas com esse objetivo devem levar em conta o manejo do solo, bem como o planejamento e a gestão de sua ocupação e de seu uso, considerando toda a área que exerce influência sobre o manancial em foco.

Nesse sentido, a utilização de sub-bacias hidrográficas (microbacias) como unidade geográfica de referência na gestão do uso do solo e dos recursos hídricos é bastante adequada, pois possibilita uma visão contextual integrada dos fenômenos ecológicos e da situação socioambiental de uma área naturalmente delimitada (a bacia hidrográfica), em vez de focar aspectos isolados ou desvinculados do contexto territorial considerado. Assim, as medidas para manejo integrado dos recursos ambientais, especialmente do sistema solo-água-plantas, devem adotar as bacias e suas respectivas sub-bacias hidrográficas como as unidades de planejamento (e ação) mais coerentes (BRAGAGNOLO, 2010; PORTO; PORTO, 2008; SOUZA; FERNANDES, 2000), com destaque para as medidas inerentes à utilização, à recuperação e à preservação dos recursos ambientais (SOUZA; FERNANDES, 2000).

O manejo de bacias hidrográficas é o processo que permite organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos ambientais contidos nessas áreas, com o intuito de produzir bens e serviços sem destruir ou afetar de modo altamente adverso o solo, a água e os ecossistemas (AGLANU, 2014; BROOKS *et al.*, 1991 *apud* VAZ, 2000). Desse modo, sob essa perspectiva do manejo conservacionista e sustentável do solo, podem-se aplicar algumas ações prioritárias para evitar ou diminuir os impactos ambientais negativos que podem ocasionar a degradação dos mananciais e recursos hídricos. Dentre essas ações destacam-se:

- conservação, recuperação (em áreas degradadas) e proteção da vegetação nativa no entorno das nascentes e das áreas úmidas, ao longo dos cursos d'água e nas zonas de recarga (adotando-se, ao menos, os parâmetros protetivos da legislação florestal);
- adoção de sistemas e práticas conservacionistas para o controle da erosão e do assoreamento, bem como para a diminuição das perdas de água;
- uso adequado de máquinas e implementos agrícolas e dimensionamento correto do pastejo do gado, de modo a evitar o encrostamento superficial, a compactação do solo, a diminuição da infiltração e o conseqüente aumento das perdas de água;
- adoção de cuidados e controle rigoroso na realização de queimadas (em conformidade com a legislação, as normas e a regulamentação vigentes) ou abandono dessa prática;
- uso reduzido e tecnicamente adequado de pesticidas e fertilizantes (ou, alternativamente, a adoção de práticas agroecológicas, a partir de um processo consciente e planejado de transição), assim como o manejo apropriado de resíduos sólidos, esgotos, dejetos e material orgânico em geral, tendo em vista o controle da poluição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo tem participação importante no ciclo hidrológico, uma vez que, ao desempenhar basicamente o papel de reservatório e filtro, possibilita a manutenção do fluxo e da qualidade da água. O uso e a ocupação do solo, bem como suas formas de manejo, podem provocar mudanças em suas características, alterando o comportamento da água no ambiente e interferindo, de forma danosa, nos processos relacionados à formação e à regularidade dos mananciais.

A utilização das terras, de um modo geral, principalmente quando realizada sem critérios adequados de manejo, tende a causar redução da infiltração de água no solo, acarretando o aumento do escoamento superficial, a intensificação de processos erosivos, o assoreamento e a diminuição dos depósitos de água subsuperficiais e da vazão de

nascentes e cursos d'água. As atividades de exploração do solo podem resultar também na redução da biodiversidade, com perda da fauna e destruição da vegetação, e na contaminação do solo e da água pela presença de substâncias tóxicas ou poluentes.

A grande preocupação com a escassez dos recursos hídricos em muitas regiões do planeta coloca a degradação das águas superficiais entre as questões ambientais mais importantes da atualidade. Dessa forma, a compreensão dos processos que levam a essa degradação é fundamental a fim de que se definam as políticas e os modelos sustentáveis mais adequados à utilização, ao manejo e à conservação dos solos e dos recursos hídricos, mediante medidas que garantam o provimento de alimentos e água de boa qualidade e em quantidade suficiente para satisfazer as necessidades atuais e futuras, sem provocar severo desequilíbrio ambiental ou pôr em risco as comunidades humanas e os ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- AGLANU, Leslie M. Watersheds and rehabilitation measures: a review. *Resources and Environment*, Los Angeles, v. 4, n. 2, p. 104–114, 2014.
- ALVARENGA, Auwdreia P. *Avaliação inicial da recuperação de mata ciliar em nascentes*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- ALVARENGA, Maria Inês N.; PAULA, Miralda B. Planejamento conservacionista em microbacias. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 55–64, 2000.
- ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Gerência Geral de Toxicologia. *Agrotóxico, herbicida e pesticida*. Brasília: Anvisa, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>. Acesso em: 1º ago. 2018.
- BACCARO, Claudete A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, Antônio J. T.; SILVA, Antônio S.; BOTELHO, Rosângela G.M. (org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 195–227.
- BAHIA, Victor G.; CURI, Nilton; CARMO, Deoclécio N.; MELO MARQUES, João José G.S. Fundamentos de erosão do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 25–31, 1992.
- BAKER, Tracy J.; MILLER, Scott N. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 486, p. 100–111, 2013.
- BARBOSA, Altair S. Elementos para entender a transposição do Rio São Francisco. *CADERNOS DO CEAS*, Salvador, n. 227, p. 71–79, 2007.
- BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. *Conservação do solo*. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010.
- BEUCHLE, René; GRECCHI, Rosana C.; SHIMABUKURO, Yosio E.; SELIGER, Roman; EVA, Hugh D.; SANO, Edson; ACHARD, Frédéric. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, Amsterdam, v. 58, p. 116–127, 2015.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Raymond R. *The nature and properties of soils*. 14. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2008.

- BRAGAGNOLO, Nestor. Planejamento de uso da terra em microbacias hidrográficas. In: PRADO, Rachel B.; TURETTA, Ana Paula D.; ANDRADE, Aluisio G. (org.). *Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. p. 137-140.
- BRANDÃO, Viviane S.; PRUSKI, Fernando F.; SILVA, Demetrius D. *Infiltração da água no solo*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.
- BRASIL. *Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília: Presidência da República, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 18 dez. 2017.
- BRASIL. *Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989*. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm. Acesso em: 18 dez. 2017.
- BRASIL. *Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Presidência da República, 2012a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 18 dez. 2017.
- BRASIL. *Lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012*. Altera a Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília: Presidência da República, 2012b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm. Acesso em: 18 dez. 2017.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013*. Brasília: MMA, 2015.
- BVS-MS (Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde). *Dicas em saúde: intoxicação por agrotóxicos*. Brasília: BVS-MS, 2006. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/dicas/108agrottox.html>. Acesso em: 14 out. 2020.
- CASTRO, Paulo S.; LIMA, Francisca Z.; LOPES, José D.S. *Recuperação e conservação de nascentes*. Viçosa: CPT, 2007.
- CENTURION, José F.; CARDOSO, Juliana P.; NATALE, William. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.
- CMMAD (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento). *Nosso futuro comum*. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Fundação Getulio Vargas, 1991.
- COELHO NETTO, Ana Luiza. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, Antonio José T.; CUNHA, Sandra B. (org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 93-148.
- COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. *Introduzindo hidrologia*. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2008.
- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). *Resolução n. 1, de 23 de janeiro de 1986*. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental. Brasília: Conama, 1986. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em: 17 dez. 2017.

- CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). *Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009*. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília: Conama, 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 17 dez. 2017.
- CUNHA, Sandra B.; GUERRA, Antonio José T. Degradação ambiental. In: GUERRA, Antonio José T.; CUNHA, Sandra B. (org.). *Geomorfologia e meio ambiente*. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 337-379.
- DAVIDE, Antônio C.; FERREIRA, Robério A.; FARIA, José Márcio R.; BOTELHO, Soraya A. Restauração de matas ciliares. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 65-74, 2000.
- FERNANDES NETO, Silvana; MELO, Geórgia Karênia R. M. M.; LIMA, Vera Lucia A.; DANTAS NETO, José. Áreas de Preservação Permanente: a aplicabilidade da legislação ambiental frente aos recursos hídricos do semiárido brasileiro. *Ciência e Natura*, Santa Maria/RS, v. 37, n. 42, p. 210-219, 2015.
- FERREIRA, Mozart M.; DIAS JÚNIOR, Moacir de S. *Física do solo*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- FONSECA, Carlos E.L.; RIBEIRO, José F.; SOUZA, Camilo C.; REZENDE, Rosana P.; BALBINO, Vanessa K. Recuperação da vegetação de matas de galeria: estudos de caso no Distrito Federal e entorno. In: RIBEIRO, José F.; FONSECA, Carlos E.L.; SOUSA-SILVA, José C. (ed.). *Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 815-870.
- GRIGGS, David; STAFFORD-SMITH, Mark; GAFFNEY, Owen; ROCKSTRÖM, Johan; ÖHMAN, Marcus C.; SHYAMSUNDAR, Priya; STEFFEN, Will; GLASER, Gisbert; KANIE, Norichika; NOBLE, Ian. Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, London, v. 495, p. 305-307, 2013.
- GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas. *Para entender a Terra*. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- GUERRA, Antonio José T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, Antonio José T.; SILVA, Antonio S.; BOTELHO, Rosângela G.M. (org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 17-55.
- HUNKE, Philip; MUELLER, Eva N.; SCHRÖDER, Boris; ZEILHOFER, Peter. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. *Ecohydrology*, Hoboken, v. 8, n. 6, p. 1154-1180, 2015.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2004.
- JONES, John; BRETT, Michael T. Lake nutrients, eutrophication, and climate change. In: FREEDMAN, Bill (ed.). *Global environmental change*. Dordrech: Springer, 2014. p. 273-279.
- KARMANN, Ivo. Água: ciclo e ação geológica. In: TEIXERA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas R.; TOLEDO, M. Cristina M.; TAIOLI, Fabio (org.). *Decifrando a Terra*. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 186-209.
- KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*, Hoboken, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- KOBIYAMA, Masato. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: SE-

- MINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS, 1., 2003, Alfredo Wagner. *Anais [...]*. Alfredo Wagner: UFSC/PPGEA, 2003. p. 1.
- LAL, Rattan. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, Basel, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015.
- LEINZ, Viktor; AMARAL, Sergio E. *Geologia geral*. 14. ed. rev. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.
- MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomias – coleção 5 (1985-2019) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. 2020. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 out. 2020.
- MATOS, Antonio T.; SILVA, Demetrius D.; PRUSKI, Fernando F. *Barragens de terra de pequeno porte*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.
- MILLER JR., G. Tyler. *Ciência Ambiental*. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- MOMOLI, Renata S.; COOPER, Miguel. Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1295-1305, 2016.
- NAWAZ, Muhammad F.; BOURRIÉ, Guilhem; TROLARD, Fabienne. Soil compaction impact and modelling: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, Berlin, v. 33, n. 2, p. 291-309, 2013.
- OLIVEIRA, Carloeme A.; KLIEMANN, Huberto J.; CORRECHELL, Vladia; SANTOS, Felipe C.V. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1281-1287, 2010.
- PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem L. L. Gestão de bacias hidrográficas. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- REDIN, Marciel; SANTOS, Gabriel F.; MIGUEL, Pablo; DENEGA, Genuir L.; LUPATINI, Manoeli; DONEDA, Alexandre; SOUZA, Eduardo L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria/RS, v. 21, n. 2, p. 381-392, 2011.
- REZENDE, AlbaV. Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. In: RIBEIRO, José F. (ed.). *Cerrado: matas de galeria*. Planaltina: Embrapa: CPAC, 1998. p. 3-16.
- RIBEIRO, José F.; WALTER, Bruno M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, Sueli M.; ALMEIDA, Semíramis P.; RIBEIRO, José F. (ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1, p. 151-212.
- SANTOS, Djail; BAHIA, Victor G.; TEIXEIRA, Wenceslau G. Queimadas e erosão do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 62-68, 1992.
- SILVA, Dijalma B.; SILVA, José Antônio; JUNQUEIRA, Nilton T.V.; ANDRADE, Leide R.M. *Frutas do Cerrado*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.
- SILVA FILHO, Eliomar P. Velocidade de infiltração em área pastagem degradada e floresta natural no município de Porto Velho/RO. *Confins – Revista Franco-Brasileira de Geografia*, n. 29, 2016. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/11635>. Acesso em: 18 dez. 2017.
- SILVA, Ivanildo C. Estudo da capacidade de infiltração de água diante de diferentes usos do solo no Município de Itapororoca/PB. *Revista Geonorte*, Manaus, v.1, n. 4, p. 648-662, 2012.
- SILVA, Marx L. N.; BAHIA, Victor G.; BARROSO, Déborah G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 44-50, 1992.
- SOUSA, Ricardo F.; NASCIMENTO, Jorge L.; FERNANDES, Eliana P.; LEANDRO, Wilson M.;

CAMPOS, Alfredo B. Matéria orgânica e textura do solo em veredas conservadas e antropizadas no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 861–866, 2011.

SOUZA, Ênio R.; FERNANDES, Maurício R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.15–20, 2000.

TUNDISI, José G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RiMa, 2003.

VAZ, Patrícia. Sistemas agroflorestais como opção de manejo para microbacias. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.75–81, 2000.

WANTZEN, Karl M.; MOL, Jan H. Soil erosion from agriculture and mining: a threat to tropical stream ecosystems. *Agriculture*, Basel, v. 3, n. 4, p. 660–683, 2013.



Modelo construtivo com foco em sustentabilidade

BRUNA RODRIGUES DOS SANTOS
TIENA MORAIS MATOS

CANTEIRO DE OBRAS TERRA MUNDI

O modelo construtivo Terra Mundi de canteiro trilha o caminho da sustentabilidade a partir de ações voltadas para amenizar os danos causados por uma construção ao meio ambiente. Os gatilhos das ações ambientais se correlacionam com a sustentação financeira a fim de promover uma transformação social que envolva os colaboradores, seus familiares e a comunidade do entorno das obras. No *Guia Exame de sustentabilidade de 2017*, no qual foram apresentados casos que percorreram esse caminho com sucesso no mercado brasileiro, afirma-se ser inquestionável

que a atividade humana, numa medida sem comparação com a de qualquer outra espécie, é causadora de mudanças significativas no ambiente do planeta. Só o homem revolveu tanta terra, desviou cursos de rios, pôs abaixo florestas inteiras, transplantou de um lado para o outro. Mesmo quem não concorde, o impacto provocado pela ação humana precisa ser repensado, contido ou controlado, quando não revertido. (CARTA..., 2017).

As constatações do impacto humano sobre o meio ambiente e sobre o meio social estão sempre presentes quando se trata do conceito de sustentabilidade. Tendo em vista o alcance de tal impacto, o Terra Mundi aplica esse conceito em todo o ciclo produtivo de uma construção para análise de sua viabilidade, desde a concepção até a operação da edificação. O objetivo não se resume, assim, em entregar um empreendimento final com foco em sustentabilidade. Também se observa o período de edificação como um critério extremamente importante a fim de que toda a cadeia do produto seja socialmente justa, ambientalmente correta e financeiramente viável. Nesse sentido, leva-se em consideração não apenas o cliente final como também todos os *stakeholders* envolvidos direta e indiretamente no processo.

Os movimentos que repensaram o modelo produtivo mundial se iniciaram a partir de 1987 com o relatório intitulado “Nosso futuro comum”, que trouxe à tona as primeiras discussões sobre sustentabilidade. Posteriormente, surgiram, a passos lentos, outros movimentos, como protocolos, conferências e congressos internacionais voltados à promoção de ações de redução da emissão de gases de efeito estufa e do desperdício de materiais, com o propósito de melhorar a qualidade de vida da população mundial e, ao mesmo tempo, de aumentar a vida útil do planeta.

No cenário atual, há empresas que avaliam seus índices econômicos de maneira global, incorporando a análise ambiental e social à avaliação de sua saúde econômica. Como explana o pesquisador do Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas de São Paulo Aron Bekinky (2016), o papel das empresas, mais até que do governo, é essencial para o estabelecimento da sustentabilidade, o que implica uma intensa reconfiguração de sistemas construtivos e de mercado em ampla escala.

Ciente de que uma edificação originalmente provoca consequências ambientais, sociais e econômicas de alto impacto, que pode ser positivo ou negativo, o Terra Mundi prima por dirimir os efeitos adversos de suas construções. Seu objetivo é contribuir para a necessária reconfiguração e readequação da cadeia construtiva hoje desenvolvida no Brasil, com base no entendimento de que a concepção de um empreendimento com viés sustentável nasce com a caracterização do produto a ser construído e com o engajamento de todos os envolvidos no projeto em prol desse modelo produtivo, de maneira que todas as ações sejam discutidas em grupo e todas as decisões convirjam para o fortalecimento do conceito. Dessa forma, da direção à operação, a sustentabilidade torna-se o ponto de partida, o caminho e o destino.

AÇÕES SOCIAIS NO CANTEIRO DE OBRAS TERRA MUNDI

Sabe-se que cada novo empreendimento traz para a comunidade da região que o receberá ônus durante a construção, o que causa dúvidas, anseios pessoais e coletivos e até descontentamentos contra a edificação antes mesmo do início das obras. Em atenção a essa situação, um canteiro sustentável preza não somente o estabelecimento de ações de cunho interno, mas também a promoção de medidas para saciar anseios, auxiliar nas necessidades vivenciadas pela população local e deliberar atividades mitigadoras do que pode comprometer a qualidade de vida dos moradores. São esses os objetivos do programa Vizinhança Amiga, que consiste em visitar as residências no entorno da obra e contatar a associação que representa a região, para apresentar o projeto e abrir o canal de comunicação entre comunidade e obra. Durante a visita, os responsáveis pela comunicação social e pela segurança fazem o cadastro dos moradores, para que eles sejam previamente informados em dias de atividades atípicas, que causem potenciais transtornos auditivos ou interferências no trânsito da região.

Além de fomentar o engajamento do entorno, o modelo produtivo com foco em sustentabilidade visa envolver seus clientes na evolução da construção, promovendo

visitas programadas periódicas para acompanhamento das etapas construtivas do empreendimento e transmitindo ao futuro morador o conceito socioambiental do canteiro e do produto (Figura 1).

FIGURA 1 - VISITA DE CLIENTES À OBRA



Fonte: Produzida pelas autoras.

As práticas voltadas para sustentabilidade com a comunidade do entorno e com os futuros moradores do empreendimento em construção consideram as pessoas como atores fundamentais e promovem uma parceria colaborativa entre as partes envolvidas, provocando-as a uma reflexão sobre o conceito.

Com o público interno, o processo inicia-se na contratação de novos funcionários, quando é realizado o treinamento admissional padrão com foco na saúde e na segurança do trabalhador. Nesse momento, é apresentada a parceria entre a obra e o Serviço Social da Indústria da Construção (Seconci), com o objetivo de que o colaborador e sua família obtenham assistência médica e odontológica acessível, independentemente da sua renda mensal.

Por meio de campanhas bimestrais, como a Campanha pelo Coração e a Campanha Antitabagismo, os funcionários são estimulados a usufruir do serviço prestado, o que cria ciclos constantes de promoção da saúde. O interessado em se consultar nas diversas especialidades oferecidas pelo Seconci pode ligar diretamente ao órgão ou agendar com a equipe responsável no canteiro de obras.

Como a demanda pela área odontológica supera a das demais, é disponibilizado, em períodos estratégicos, um *trailer* em que são oferecidos, durante o horário de trabalho, atendimentos previamente agendados, para garantir maior comodidade

ao trabalhador (Figura 2). O resultado dessa parceria tem sido extremamente positivo, visto que, no período médio de um ano, consultam-se 33% dos funcionários registrados, além dos familiares.

FIGURA 2 - TRAILER ODONTOLÓGICO EM OBRA



Fonte: Produzida pelas autoras.

A fim de estimular também a saúde mental, oferece-se, em parceria com o Centro de Valorização da Vida (CVV), atendimento com voluntários que comparecem aos canteiros de obras semanalmente para ouvir os funcionários em suas demandas profissionais e pessoais. Além disso, são realizadas palestras bimestrais com temáticas de respeito pela vida.

Ainda em benefício da saúde, disponibiliza-se o Espaço Bem-Estar, formado por salas para descanso e diversão, que são reservadas desde a concepção do canteiro de obras. A sala de descanso conta com um espaço arejado, ventilado e limpo com colchonetes, a fim de que, no horário de almoço, os colaboradores possam repousar e renovar a disposição antes da próxima jornada de trabalho. O ambiente de diversão compreende uma sala de jogos de sinuca, pebolim e dominó e uma sala de informática com acesso à internet para aqueles que pretendem entreter-se no mundo virtual. As ações de saúde e bem-estar reiteram o compromisso com as pessoas, as quais estão no cerne do desenvolvimento ideal da sustentabilidade.

Sobre outro aspecto, Barros e Padilha (2017) afirmam, com base em estudos comparativos, que a capacitação e a qualificação profissionais são consideradas como importante aspecto a ser observado com vistas à melhoria da segurança no trabalho,

ao aprimoramento dos trabalhadores no exercício das funções e ao seu desenvolvimento pessoal, bem como à sua conscientização quanto aos impactos ambientais da atividade. Trata-se, portanto, de elemento fundamental para a consecução da qualidade do trabalho na indústria da construção.

O modelo construtivo em questão também acredita que, com o Espaço Educação, ações educacionais edificam a almejada transformação social do indivíduo e do meio em que vive. Nesse sentido, há duas iniciativas nos canteiros: a educação continuada para jovens e adultos, resultado da parceria da obra com o Serviço Social da Indústria (Sesi), e a oferta de cursos profissionalizantes com professores qualificados e requeridos no mercado mediante a concessão de bolsas de estudos aos que se interessam em se especializar na área da construção civil (Figura 3).

FIGURA 3 - SALA DE AULA



Fonte: Produzida pelas autoras.

Se o canteiro dispuser de, no mínimo, cem trabalhadores, realiza-se o diagnóstico de nível escolar, que mapeia o ano em que a maior parte deles encerrou seus estudos. Após a apresentação do relatório pelo Sesi, são entrevistados os colaboradores aptos a ingressar na turma de maior demanda e, assim que possível, são efetuadas as matrículas. Acompanha-se, então, o andamento do ano letivo até a sua conclusão. Em razão da baixa exigência de requisitos escolares para o setor da construção civil, incentiva-se a continuidade dos estudos com a doação de cestas básicas mensais para todo aluno que obtiver 100% de presença.

Os cursos profissionalizantes no canteiro seguem o cronograma de execução da obra. Por esse motivo, antes do início do serviço, são abertas as inscrições para esses cursos, entre os quais há, por exemplo, os de carpinteiro, pedreiro para alvenaria estrutural, encanador, eletricista, gesso. Ao fim das aulas teóricas e práticas, inicia-se

a fase de estágio para todos os concluintes interessados em desempenhar a nova função. Passada a fase de estágio, os alunos bem pontuados são requalificados e garantem atualização na carteira de trabalho.

A média de formação da educação continuada tem sido superior a 65%, ao passo que os cursos profissionalizantes obtêm média de 50% de efetivação dos alunos concluintes. Além de transformar socialmente a vida daqueles que não tiveram oportunidade de terminar os estudos ou de se profissionalizar, o plano educacional do canteiro de obras visa mudar o cenário formativo dos trabalhadores da obra com o projeto de bolsa de estudos, pelo qual fomenta a graduação como elemento necessário para o crescimento profissional e para a melhoria da qualidade de vida, viabilizando que qualquer um deles possa se graduar, por exemplo, em Engenharia Civil.

AÇÕES AMBIENTAIS NO CANTEIRO DE OBRAS TERRA MUNDI

Como não há sustentabilidade sem a preocupação com questões ambientais, o modelo de construção Terra Mundi empenha-se em gerir de maneira eficiente a descarte de seus resíduos e o consumo de água e energia, mobilizando todos os envolvidos na obra para reduzir a geração de resíduos e para precatar eventuais desperdícios. Nesse sentido, busca-se diminuir o consumo de água potável no canteiro, mediante treinamento dos colaboradores no ato da admissão e orientações, atualizadas semanalmente, acerca do controle de desperdícios nas diversas atividades realizadas na obra. Ademais, utiliza-se a Estação de Tratamento de Água Cinza (ETAC), que trata toda a água proveniente do banho dos funcionários e possibilita o reúso de classe apropriada nas descargas sanitárias, na lavagem de canteiro, na produção de blocos e na mitigação de poeira (Figura 4).

FIGURA 4 - ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA



Fonte: Produzida pelas autoras.

O desempenho da ETAC depende exclusivamente do volume de água gerado no banho dos funcionários, oscilando, assim, conforme cronograma, características dos colaboradores da obra e uso pretendido. Não obstante, capta 100% desse volume e produz, em média, 75% de água reciclada para uso com as finalidades pretendidas, o que, além de representar valor econômico para a obra, associa ainda mais valor ambiental ao empreendimento.

Para a redução do consumo da energia elétrica advinda da concessionária, busca-se empregar a maior quantidade possível de energia limpa, com a aplicação de tecnologias inovadoras às atividades do canteiro, a exemplo do uso da bomba solar no sistema lava-rodas, do aquecimento solar dos chuveiros e da utilização de garrafas PET translúcidas para iluminação de ambientes. Além disso, investe-se em estudos que fomentem a distribuição de novos recursos tecnológicos com energias renováveis. Em um ano de obra, essas iniciativas, aliadas ao incessante trabalho de conscientização, resultaram na redução do consumo em cerca de 12.000 kWh, o que corresponde à economia de 7,5% na conta de energia da obra.

Outra inovação que contou com investimento monetário e intelectual do canteiro Terra Mundi foi o sistema híbrido resultante da junção dos sistemas de aquecimento solar e de energia solar para gerar concomitantemente água quente e energia elétrica limpa (Figura 5). Essa junção diminui a área de ocupação de cada sistema e aumenta a eficiência de ambos, pois sua composição simbiótica garante benefício mútuo conjunto. Como estudo de inovação, os testes empíricos dessa nova tecnologia estão sendo avaliados, para que, caso se comporte com a eficiência esperada, ela possa inserida no empreendimento.

FIGURA 5 - SISTEMA HÍBRIDO



Fonte: Produzida pelas autoras.

Os materiais utilizados na obra compreendem o maior volume de recursos consumidos no canteiro. Nesse contexto, o maior gargalo do gerenciamento sustentável é a gestão de resíduos, a qual se constitui em uma matriz com quatro pontos estratégicos: redução da geração e do desperdício, reaproveitamento, reciclagem e destinação adequada. Esse processo começa com a conscientização, que implica treinamentos periódicos, monitoramento diário e campanhas de envolvimento acerca do uso consciente dos materiais, de modo a evitar o desperdício. Nesse ponto, afirma-se a importância da atuação de agentes propagadores da ideia com o intuito de incentivar a recorrência dos novos hábitos inerentes à prestação do serviço, formando-se, desse modo, os “agentes Mundi”, que, pelo interesse e pelo estímulo à prática, possuem autoridade e capacitação para orientar e envolver cada integrante do desenvolvimento da obra nas questões ambientais (Figura 6).

FIGURA 6 - AGENTES MUNDI



Fonte: Produzida pelas autoras.

Os colaboradores são instruídos a coletar e preparar, quando for o caso, somente os materiais necessários para o trabalho durante o dia, pois o excedente se perde e vira resíduo. Promove-se, assim, a gestão eficiente do consumo, que ocorre desde a descarga no canteiro até o uso final, articulando o reaproveitamento de todo o recurso disponível para execução do serviço proposto. Todos os envolvidos também são orientados a realizar a triagem dos tipos de resíduos conforme as particularidades de destinação e tratamento de cada um. Objetiva-se, dessa forma, suscitar a mudança de hábito mediante a identificação dos resíduos gerados em cada frente de serviço. Há ainda uma grande preocupação com o uso de caçambas, nas quais, em princípio, pode-se jogar qualquer resíduo, sem importar a sua destinação. Por esse motivo, surgiu o Programa Caçamba Zero, que compreende o armazenamento de todos os tipos de rejeitos em baias de separação de acordo com os tipos, o que pode reduzir até 30% do total de volume residual.

Combinados com essa boa prática de segregação, ocorrem o reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos. Os resíduos orgânicos são encaminhados a uma composteira construída com materiais reaproveitados da obra. Os produtos da compostagem destinam-se à horta presente no canteiro. Como conclusão dessa ação ambiental, mudas são doadas aos envolvidos (Figura 7).

FIGURA 7 - DOAÇÃO DE MUDAS E ORIENTAÇÕES PARA COMPOSTAGEM CASEIRA



Fonte: Produzida pelas autoras.

Os resíduos Classe A são processados em um britador de impacto e transformados em agregado reciclado, que é empregado em regularizações e aterros e na produção de blocos da fábrica instalada no canteiro (Figura 8). Em uma obra, são reaproveitados, em média, 3% do volume total dos resíduos dessa classe.

FIGURA 8 - FÁBRICA DE BLOCOS



Fonte: Produzida pelas autoras.

A reutilização, medida fundamental ante a crescente escassez de matéria-prima, é considerada na construção ou na demolição de um empreendimento em atenção ao projeto e aos critérios adotados por sistemas e tecnologias construtivas (BLUMENSCHNEIN, 2007). A partir dessa visão, surgiu a fábrica de blocos no canteiro com o intento de fechar o ciclo de vida dos produtos oriundos de cimento e iniciar um novo ciclo, no caso, de blocos de vedação de 9x19x39 e 14x19x39 e *pavers* para calçamento. O traço de cada produto foi estudado em laboratório com ensaios monitorados confiáveis e é aplicado sob a supervisão de equipe própria diariamente. Em média, são produzidos 50.500 blocos por ano, quantidade suficiente para a construção de dez casas populares. Esses blocos são utilizados nos muros dos canteiros, em alvenarias não estruturais do empreendimento e em casas do Programa Viva Casa.

Cada resíduo é destinado a tratamentos adequados, a partir da coleta por parte das recicladoras ou da doação, que consiste na locação de caminhão tipo *truck* com lona para cobertura e no transporte da carga da construtora à área de transbordo e triagem (ATT) das cooperativas ou das próprias empresas recicladoras de tipos específicos de resíduos. Os caminhões procedentes da obra transportam, ao todo, 283 m³ de materiais por ano. A maior parte desse total corresponde aos resíduos classe A (62%), seguidos da madeira (30%). Exige-se que os locais de descarte, que devem apresentar licença ambiental municipal vigente e registrar com carimbo e assinatura o controle de transporte de resíduo (CTR) – documento que atesta o recebimento da carga no local –, processem os resíduos adequadamente.

FIGURA 9 - CASA DOADA PELO PROGRAMA VIVA CASA



Fonte: Produzida pelas autoras.

MODELO DIDÁTICO: PROGRAMA VIVA CASA

Para fechar o ciclo socioambiental, o modelo produtivo Terra Mundi gerencia o Programa Viva Casa, que compreende ações tanto do âmbito social quanto do ambiental, com total colaboração dos envolvidos na construção para reverter aos trabalhadores toda a economia gerada com a gestão de resíduos, água e energia, realizando o sonho da casa própria (Figura 9). Dessa forma, o resultado da economia advinda dos processos limpos, em benefício para o meio ambiente e para as pessoas, cumpre a missão da sustentabilidade em sua cadeia de valor.

O Programa Viva Casa tem fim pedagógico e promocional, e não assistencialista, pois a participação dos funcionários nas demais atividades que envolvem o modelo construtivo com foco em sustentabilidade é diretamente proporcional à oportunidade de realizar a busca pela casa. Com um critério de seleção e pontuação ligado tanto ao envolvimento dos trabalhadores nos programas educacionais quanto ao seu desempenho profissional e ao reconhecimento de seus companheiros de trabalho, a doação das casas premia sempre os mais necessitados que buscam crescimento e têm bom relacionamento com os demais colaboradores das obras, sejam contratados diretos, sejam terceirizados nos canteiros da empresa. É direta a ligação desse programa com a economia de recursos, a qual define o número de casas doadas. Uma vez que essa economia (com resíduos, água e energia) atinge a quantia de R\$30.000,00, a construtora dobra esse valor, e o processo seletivo se inicia.

A primeira etapa é o nivelamento por base salarial. Todos os funcionários que ganham até dois salários mínimos preenchem um questionário socioeconômico, que é tabulado, o que resulta em um total de dez finalistas com o mesmo patamar socioeconômico. Alguns dos requisitos que mais pontuam são: participação nos cursos profissionalizantes oferecidos gratuitamente no canteiro; residência em imóvel alugado e número de familiares e dependentes que moram com o trabalhador. Depois de escolhidos os finalistas, é produzido um vídeo de um minuto de cada candidato, que é apresentado a todos os colaboradores da empresa, para que eles possam votar e eleger o beneficiário do programa. Definido o resultado, a casa é construída e entregue em 30 dias. Vale destacar que, nessa construção, mantém-se o padrão de eficiência energética do empreendimento, por meio da instalação de um sistema de aquecimento solar para os chuveiros da residência, o que permite uma redução de cerca de 30% na fatura de energia elétrica.

Exemplifica-se, com este texto, a integração promovida pelo modelo produtivo com foco em sustentabilidade Terra Mundi: quanto mais os funcionários contribuem para um ambiente ecologicamente equilibrado e se empenham em se aprimorar por meio da educação, mais benefícios são direcionados ao público interno e ao meio ambiente, de modo que todos são favorecidos pela mudança da cultura de construção de um empreendimento, qualquer que seja ele.

REFERÊNCIAS

BARROS, Veronica A.; PADILHA, Norma S. Construção sustentável e meio ambiente do trabalho. *Revista do Direito do Trabalho e Meio Ambiente do Trabalho*, Curitiba, v. 2, n. 2, 2017.

BELINKY, Aron. A terceira geração da sustentabilidade empresarial. *GV Executivo*, São Paulo, v. 15, n. 2, jul./dez. 2016.

BLUMENSCHNEIN, Raquel N. *Manual técnico: gestão de resíduos sólidos em canteiros de obras*. Brasília: Sebrae, 2007.

CARTA de Exame: um futuro melhor que o presente. *Guia Exame de sustentabilidade de 2017*, n. 1150, 22 nov. 2017. Disponível em: <http://appmobile.abril.com.br/tag/1150/> Acesso em: 14 fev. 2020.

Sobre os autores

ALESSANDRO SILVA DE OLIVEIRA

Doutor em Ciências Ambientais (2016), mestre em Química do Cerrado (2005) e licenciado em Química (2002) pela Universidade Federal de Goiás e bacharel em Química (Modalidade Industrial) pela Uni-Anhanguera (2016). É professor efetivo no Instituto Federal de Goiás e orientador no Programa de Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT). Realiza pesquisas em colaboração com redes do Brasil e com pesquisadores da União Europeia. Coordena o Núcleo de Pesquisas e Estudos na Formação Docente e Educação Ambiental (Nupedea). Seus trabalhos de investigação situam-se nas áreas de Educação, Ensino e Ciências Ambientais. E-mail: alessandro.oliveira@ifg.edu.br.

ANTONIO PASQUALETTO

Mestre (1994) e doutor (1999) em Fitotecnia (Produção Vegetal) pela Universidade Federal de Viçosa e graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Santa Maria (1991). Atuou como visiting professor e realizou estágio pós-doutoral em Environmental Engineering na Università di Pisa, Itália (2019). É professor titular da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) e do Instituto Federal de Goiás. Coordena o Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial da PUC Goiás. É autor de projetos financiados pela Capes, pelo CNPq e pela Fapeg. Atua como supervisor do Laboratório Urbano de Pesquisas Aplicadas e como editor adjunto da *Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*. Possui mais de 330 publicações entre artigos científicos, livros, capítulos de livros e anais de eventos nacionais e internacionais. Sua experiência situa-se na área de Engenharia Sanitária e Ambiental e Agronomia, com pesquisa em saneamento, gestão, impactos, tecnologia, educação e planejamento ambiental, políticas públicas e desenvolvimento regional. E-mail: profpasqualetto@gmail.com.

BRUNA RODRIGUES DOS SANTOS

MBA em Construções Sustentáveis e Certificações Ambientais pelo Instituto Brasileiro de Educação Continuada (2018), engenheira civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2015) e tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Goiás (2011). E-mail: brs_bruna@hotmail.com.

CHRISTIANE ROSA DE PAIVA

Mestra em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (2011), graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2002) e graduada em Direito pela UniEvangélica (2010). É professora efetiva do Instituto Federal de Goiás (IFG) do Câmpus Anápolis nos cursos de Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade e Técnico em Edificações. Atua como coordenadora técnica no Projeto SanearCidades, em parceria do IFG com a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) na capacitação e no assessoramento de 55 municípios na confecção de seus planos municipais de saneamento básico. E-mail: chris.paiva@ifg.edu.br.

CLÁUDIO ROCHA DOS SANTOS JACINTHO

Mestre em sustentabilidade (2007) e engenheiro florestal (2002) pela Universidade de Brasília (UnB). Idealizador e fundador do Instituto de Permacultura (Ipoema), ocupando o posto de diretor-geral na gestão 2005-2009 e na atual, iniciada em 2019. Criou a ementa da disciplina Introdução à Permacultura no departamento de Engenharia Florestal da UnB e atuou como professor da cadeira. Suas pesquisas situam-se na área de permacultura, bioconstruções, agroflorestas, manejo sustentável de água, ensino da permacultura e suas áreas e gestão no terceiro setor. E-mail: claudiocj@ipoema.org.br – website: www.ipoema.org.br.

FERNANDO SCHIMIDT

Doutor em Química (2000), mestre em Química Analítica (1997) e bacharel em Química Tecnológica (1993) pela Universidade de Campinas. É professor efetivo de disciplinas na área de Química há 10 anos no Instituto Federal de Goiás (IFG), orientando diversos TCCs e projetos de Pibic e Pibit, e membro permanente do Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia de Processos Sustentáveis, no IFG/Câmpus Goiânia. Trabalha na área de Química Analítica com

técnicas instrumentais, métodos espectroscópicos em geral, Química Ambiental e também quimiometria. E-mail: schimidt99@gmail.com.

FRANCIELE FATH

Mestra em Ecologia pela Universidade Regional do Alto Uruguai das Missões (2011), licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade de Passo Fundo (2008) e graduanda em Tecnologia em Geoprocessamento pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). É analista ambiental da empresa Natura e consultora ambiental, atuando na análise de dados e na elaboração de relatórios técnicos. E-mail: frafath@gmail.com.

GRIGÓRIO DA SILVA OLIVEIRA

Especialista em Perícia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2011) e engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Goiás (2001). Atua como auditor técnico do Sistema Nacional de Certificação de Unidades Armazenadoras e como instrutor do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar) do curso de Operador de Máquinas e Implementos Agrícolas. Tem exercido atividades profissionais em diversas áreas de maquinário e orientação técnica para plantios e colheitas, uso de fertilizantes, manejo de grãos para empresas como Carpal Tratores – New Holland, Pivot – Case IH, Agroverde, Solo Vivo Comércio e Indústria de fertilizantes e Control Union Warrants. E-mail: grigorio@hotmail.com.

GUSTAVO HENRIQUE AMARAL MONTEIRO ROCHA

Técnico em Química pelo Instituto Federal de Goiás (2015) e graduando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Goiás. Fundador e diretor executivo da companhia Nutricandies. Atua com ênfase na área de desenvolvimento de produtos e processos para a indústria alimentícia, química dos alimentos e em gestão ambiental com enfoque no tratamento de efluentes em indústrias alimentícias. E-mail: gustavo-rocha.ifg@outlook.com.

JHÉSSICA CAVALCANTE DE SOUZA GOLVEIA

Mestra em Ciências Farmacêuticas (2016) e graduada em Farmácia pela Universidade Federal de Goiás (UFG), tendo realizado parte da graduação na Faculdade de Farmácia da Universidade de Lisboa, Portugal (2013). Atualmente, é doutoranda em Inovação

Farmacêutica pela UFG. Atua em pesquisa sobre os seguintes temas: produção e aplicação de enzimas fúngicas de interesse biotecnológico no tratamento de águas de abastecimento e residuárias; detecção, degradação e biotransformação de fármacos e outras substâncias em águas superficiais, residuárias e de abastecimento; biossorção de micropoluentes em águas residuárias; métodos alternativos para detecção de micropoluentes em águas residuárias. Atualmente, é perita criminal oficial e supervisora técnica na Seção de Toxicologia Forense do Instituto de Criminalística Leonardo Rodrigues da Polícia Científica de Goiás. E-mail: jhessica.gouveia@hotmail.com.

JOÃO BAPTISTA CHIEPPE JÚNIOR

Doutor (1998) e mestre (1993) em Agronomia (Irrigação e Drenagem) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, especialista em Irrigação e Drenagem pela Associação Brasileira de Engenharia Agrícola e pela Universidade Federal de Viçosa (1991) e graduado em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agronomia de Lavras (1987). Participou de curso de aperfeiçoamento em Tecnologia Agrícola e Irrigação pelo Galilee International Management Institute de Israel (2011) e cursou pós-graduação lato sensu em Gestão da Agroindústria Sucroalcooleira pela Universidade Federal de Campina Grande e pela Universidade Federal de Mato Grosso (2010). Atualmente, é professor titular efetivo do Instituto Federal de Goiás/Câmpus Inhumas. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em irrigação e drenagem, atuando principalmente nos seguintes temas: feijoeiro, irrigação, solo, água e meio ambiente. Atua também nas áreas de gestão ambiental, meio ambiente e aproveitamento de resíduos sólidos e de produção sucroalcooleira. Em 2019, concluiu o estágio de pós-doutoramento no Instituto Superior de Agronomia ISA Lisboa Portugal na área de Química Ambiental. E-mail: jrchieppe@gmail.com.

LAIS CAMARGO DE LACERDA MEDRADO

Mestra em Tecnologia de Processos Sustentáveis pelo Instituto Federal de Goiás (2017), especialista em Docência do Ensino Superior pela Faculdade Brasileira de Educação e Cultura (2014) e graduada em Química Industrial pela Universidade Estadual de Goiás (2011). Atualmente, é doutoranda em Inovação Farmacêutica pela UFG e servidora pública do IFG, atuando como técnica de laboratório

na área de Química. Tem experiência na área de Química, com ênfase em biotecnologia e microbiologia aplicadas a processos de descontaminação ambiental. E-mail: laismedadro@yahoo.com.br.

LARA GOMES CÔRTEZ

Doutora (2013) e mestra (2009) em Ecologia e Evolução pela Universidade Federal de Goiás, bacharel (2005) e licenciada (2006) em Ciências Biológicas pela Universidade de Brasília e graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Goiás (IFG). É analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), atuando no Centro de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios (RAN/GO). Trabalha principalmente com os seguintes temas: biologia da conservação, geoprocessamento, unidades de conservação, análises de priorização espacial, espécies ameaçadas. E-mail: lara.cortes@icmbio.gov.br.

MAICON BRAÚNA DE MOURA

Graduado em Agroecologia pelo Instituto Federal de Brasília (2016). Atualmente, é educador ambiental do Instituto Oca do Sol. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agroecologia. E-mail: maicondf@gmail.com.

MARCELA AMORIM DA SILVA

Técnica em Química pelo Instituto Federal de Goiás (2016) e graduanda em Farmácia na Universidade Federal de Goiás. E-mail: marcela_ads@outlook.com.

MARIA TERESA FREITAS BARA

Doutora em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Brasília (2002), mestra em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1991) e bacharel em Farmácia e Bioquímica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (1986). É professora titular aposentada da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Goiás e dos programas de pós-graduação em Ciências Farmacêuticas e em Inovação Farmacêutica, na área de atividade biológica e controle de qualidade de plantas medicinais, pesquisa e desenvolvimento de fitoterápicos e fitocosméticos a partir de plantas brasileiras e também na área de biotecnologia, com ênfase em produção de enzimas microbianas. Foi

bolsista de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora/CNPq (2012-2015/2017-2020). E-mail: mtbara@gmail.com.

MARIÂNGELA F. SANTIAGO

Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas (1999) e mestra em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (1993). Atualmente, é professora titular da Universidade Federal de Goiás (UFG) e bolsista de produtividade nível 2 (CNPq). Foi bolsista de desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora nível II (DT II) até 2015. Atua como membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Inovação Farmacêutica da UFG. Foi membro do Mestrado em Tecnologias de Processos Sustentáveis do Instituto Federal de Goiás (IFG) até 2020 e do Programa de Pós-Graduação de Engenharia do Meio Ambiente da UFG de 2004 até 2015. Possui experiência nas áreas de Química Biológica e Microbiologia, com ênfase em enzimologia e microbiologia ambiental trabalhando em linhas de pesquisa como: produção e aplicação de enzimas fúngicas de interesse biotecnológico e tratamento de águas de abastecimento e residuárias. Suas pesquisas tratam dos seguintes temas: detecção, degradação e biotransformação de fármacos e outras substâncias em águas superficiais, residuárias e de abastecimento; enzimas fúngicas (fenoxidase, peroxidases e pectinases). E-mail: mariangelafs@gmail.com.

NATASHA CAMILO DA SILVA OLIVEIRA

Técnica em Química pelo Instituto Federal de Goiás (2016) e graduanda em Enfermagem na Facmais de Inhumas (2020). E-mail: natashasilva1018@gmail.com.

NATHÁLIA AUGUSTA URBANO CAETANO

Licenciada em Química pelo Instituto Federal de Goiás (2019) e técnica em Química pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2015). Foi aluna do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do IFG, desenvolvendo pesquisas na área de biocombustíveis. Atualmente, trabalha como professora de Ciências e Matemática da educação básica e também como instrutora de educação profissional na área de Química Industrial. E-mail: nathaliaaugustauc@gmail.com.

NATHÁLIA MACHADO E SOUSA

Doutora em Ecologia e Evolução pela Universidade Federal de Goiás

(2014), com período sanduíche no Museo Nacional de Ciencias Naturales, em Madri, Espanha, e mestra em Ecologia e Conservação pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2009). Atuou como membro do Núcleo de Planejamento Espacial para a Conservação do CNCFLora/JBRJ durante o período de 2014 a 2018. Atua especialmente na área de conservação da biodiversidade, priorização espacial para conservação da biodiversidade e planejamento de ações de conservação e sistemas agroflorestais. E-mail: nmachado.conservacao@gmail.com.

NOLAN RIBEIRO BEZERRA

Doutora em Saneamento e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Viçosa (2011), mestra em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (2001), especialista em Saúde Ambiental pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2002) e engenheira ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (1998). Atualmente, é professora efetiva do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal de Goiás (1998). Possui pesquisas nas áreas de saneamento rural, plano de segurança da água e avaliação de riscos. E-mail: nolan.teixeira@ifg.edu.br.

REGIS DE CASTRO FERREIRA

Doutor em Construções Rurais e Ambientância pela Universidade de Campinas (2003), especialista em Infraestruturas Agrícolas pela Universidade de Almería, Espanha (2000) e em Energização Rural pela Universidade Federal de Lavras (1998), graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás (1994). Realizou pós-doutoramento em Modelagem Ambiental na Wageningen University & Research, Holanda (2013-2014). É professor associado IV da Faculdade de Artes Visuais da UFG, atuando em sustentabilidade, conforto ambiental e eficiência energética de edificações. É membro da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foi professor da Escola de Agronomia da UFG de 1995 a 2018. Atuou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFG (2005-2015) nas temáticas de climatologia e de manejo de ambientes protegidos e no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente da UFG (2004-2012), com ênfase em conforto ambiental, aproveitamento de resíduos em construções e materiais e técnicas construtivas não convencionais. Cursa Arquitetura e Urbanismo na Pontifícia Universidade Católica de Goiás. E-mail: rcastro@ufg.br.

RICARDO FERNANDES DE SOUSA

Doutor (2013) e mestre (2009) em Agronomia, com ênfase em Solo e Água, pela Universidade Federal de Goiás (UFG), especialista em Solos e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Lavras (2005) e engenheiro agrônomo pela UFG (1994). Atualmente, é professor efetivo do Instituto Federal de Goiás, atuando nas áreas de Ciências Ambientais e do Solo. Tem experiência em Agronomia, nas áreas de meio ambiente, solos e produção agropecuária sustentável. E-mail: rifego@yahoo.com.br.

ROSANA GONÇALVES BARROS

Doutora (2005), mestra (2001) e graduada (1999) em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente, é professora efetiva do Câmpus Goiânia do Instituto Federal de Goiás (IFG). Faz parte do Grupo de Pesquisas em Engenharia Ambiental e Sanitária (GPEAS) do IFG. É coautora do projeto pedagógico do curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária do IFG, fazendo parte de seu Núcleo Docente Estruturante. É membro da diretoria da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de Goiás (Abes/GO). É representante do IFG no Conselho Municipal de Saneamento Básico de Goiânia. E-mail: rosana.barros@ifg.edu.br.

TATIANA APARECIDA ROSA DA SILVA

Doutora (2011), mestra (2008) e bacharel e licenciada (2005) em Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente, é professora efetiva do Instituto Federal de Goiás/Câmpus Itumbiara, tutora do Programa de Educação Tutorial PET Química do IFG e integrante do Grupo de Pesquisa Nupequi. E-mail: tatiana.silva@ifg.edu.br.

TIENA MORAIS MATOS

MBA em Gestão de Projetos pela Universidade de São Paulo (2018) e engenheira civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2015). E-mail: tienamatos@gmail.com.

VINÍCIU FAGUNDES BÁRBARA

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (2017), mestre em Engenharia do Meio Ambiente por essa mesma instituição (2006) e graduado em Engenharia Ambiental pela Pontifícia

Universidade Católica de Goiás (2004). Atualmente, é professor efetivo do Instituto Federal de Goiás (IFG) e perito ambiental do Ministério Público do Estado de Goiás (MP/GO). É membro-fundador do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e do Grupo de Pesquisas em Engenharia Ambiental e Sanitária (GPEAS), ambos do IFG. Também integra a equipe do Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Amapá (Unifap). Atua principalmente no gerenciamento de áreas contaminadas. E-mail: viniciu.fagundes@ifg.edu.br.

VÍVIAN MARA UHLIG

Mestra em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2005), bacharel e licenciada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Positivo em Curitiba/PR (2002). É analista ambiental no Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), onde atuou no geoprocessamento e monitoramento aplicados a unidades de conservação de uso sustentável em Brasília (2007-2008), como chefe de unidade de conservação no Amazonas (2009) e como chefe de unidade de conservação de proteção integral no Paraná (2010). Foi responsável pelo Núcleo de Informações Georreferenciadas do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Répteis e Anfíbios (RAN) entre 2010 e 2018. Atualmente, integra a equipe da Gerência Regional 3 do ICMBio, prestando apoio para a gestão de 25 unidades de conservação. E-mail: vivian.uhlig@icmbio.gov.br.

VIVIANE EVANGELISTA DOS SANTOS ABREU

Mestra em Educação e Ecologia (2010) e bacharel em Engenharia Florestal (2005) pela Universidade de Brasília (UnB), especialista em Gestão de Recursos Hídricos pela Agência Nacional de Águas (2018) e licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual de Goiás (2020). Atualmente, é doutoranda em Restauração Ecológica pela UnB e professora do Instituto Federal de Brasília/Câmpus Planaltina, onde leciona as disciplinas de manejo e conservação solo-água, biologia do solo, extensão rural, paisagismo cerratense, fruticultura especial e plantas medicinais. É integrante do Grupo de Pesquisa Núcleo de Estudos em Agroecologia NEA-Candombá (CNPq/IFB). E-mail: viviane.abreu@ifb.edu.br.

WANESSA SILVA ROCHA

Mestra em Desenvolvimento e Planejamento Territorial pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (2019), engenheira ambiental também por essa instituição (2015) e técnica ambiental pelo Instituto Federal Goiano/Câmpus Ceres (2010). Atuou como analista ambiental no projeto SanearCidades – Planos Municipais de Saneamento Básico pelo Instituto Federal de Goiás/Câmpus Goiânia e pela Funasa e como engenheira ambiental na Lopes Engenharia (2016/2017). Atualmente, atua como engenheira ambiental plena na Energy System. Sua área de atuação abrange consultorias, estudos ambientais, licenciamento e geoprocessamento. E-mail: wrochaamb@gmail.com.

Créditos

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

REITOR

Jerônimo Rodrigues da Silva

PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Paulo Fancinete Silva Júnior

EDITORA-CHEFE

Vanderleida Rosa de Freitas e Queiroz

CONSELHO EDITORIAL

Carlos de Melo e Silva Neto

Fábio Teixeira Kuhn

Fernando dos Reis de Carvalho

Lucas Nonato de Oliveira

Maria Aparecida de Castro

Maria de Jesus Gomides

Rita Rodrigues de Souza

Tânia Mara Vieira Sampaio

Vanderleida Rosa de Freitas e Queiroz

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E CAPA

Pedro Henrique Pereira de Carvalho

REVISÃO

Olliver Robson Mariano Rosa

Vanderleida Rosa de Freitas e Queiroz

CONSELHO CIENTÍFICO

Adelino Cândido Pimenta (IFG)

Albertina Vicentini Assumpção (PUC/GO)

Alice Maria de Araújo Ferreira (UNB)

André Luiz Silva Pereira (IFG)

Angel José Vieira Blanco (IFG)

Antônio Borges Júnior (IFG)

Camila Silveira de Melo (IFG)

Cândido Vieira Borges Júnior (UFG)

Carlos Leão (PUC/GO)

Celso José de Moura (UFG)

Clarinda Aparecida da Silva (IFG)

Cláudia Azevedo Pereira (IFG)

Dilamar Candida Martins (UFG)

Douglas Queiroz Santos (UFU)

Gláucia Maria Cavasin (UFG)

Jullyana Borges de Freitas (IFG)

Jussanã Milograna (IFG)

Kellen Christina Malheiros Borges (IFG)

Kenia Alves Pereira Lacerda (IFG)

Liana de Lucca Jardim Borges (IFG)

Lídia Lobato Leal (IFG)

Lillian Pascoa Alves (IFG)

Manoel Napoleão Alves de Oliveira (IFG)

Marcelo Costa de Paula (IFG)

Marcelo Firmino de Oliveira (USP)

Maria Sebastiana Silva (UFG)

Marshal Gaioso Pinto (IFG)

Marta Rovey de Souza (UFG)

Mathias Roberto Loch (UEL)

Maurício José Nardini (MP/GO)

Pabline Rafaella Mello Bueno (IFG)

Paulo César da Silva Júnior (IFG)

Paulo Henrique do Espírito Santo Nestor (IFG)

Paulo Rosa da Mota (IFG)

Rachel Benta Messias Bastos (IFG)

Ronney Fernandes Chagas (IFG)

Rosana Gonçalves Barros (IFG)

Simone Souza Ramalho (IFG)

Waldir Pereira Modotte (UNESP)

Walmir Barbosa (IFG)

Formato A4 (210 x 297mm)

Tipografia Gotham 20/24 (títulos)
Chaparral Pro 12/18 (texto)

Tiragem 250 exemplares

Há mais de dez anos, o IFG vem desenvolvendo ações que envolvem soluções de problemas ambientais e alternativas para o desenvolvimento mais equilibrado das sociedades humanas no mundo. Em consideração à importância dessas ações, foi proposta uma composição de trabalhos relacionados ao assunto em um volume da série Cognoscere: Cadernos Temáticos de Pesquisa do IFG. Assim, surgiu o caderno Meio ambiente e desenvolvimento sustentável, com trabalhos sobre esse tema tão atual e relevante. Esta publicação representa, assim, uma amostra das pesquisas desenvolvidas na instituição, o que tende a impulsionar estudos afins, valorizando ainda mais as questões ambientais.

Tendo em vista a diversidade de questões abordadas nestes trabalhos e o potencial da instituição para o desenvolvimento de pesquisas na área de meio ambiente, esperamos que este Caderno seja um marco histórico na publicação de trabalhos vinculados a essa área, contribuindo, assim, com o desenvolvimento da pesquisa e com a valorização do conhecimento científico, fundamental para a compreensão dos cuidados que a manutenção da vida requer.

FERNANDO SCHIMIDT
CARLOS DE MELO E SILVA NETO
OS ORGANIZADORES

