



# ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

## Organizadores

Aline Ferrão Custódio Passini

Lorimar Francisco Munaretto

Malva Andrea Mancuso

Mariza de Camargo



1ª EDIÇÃO

**FACOS-UFSM**

2021

## **Organizadores**

Aline Ferrão Custódio Passini

Lorimar Francisco Munaretto

Malva Andrea Mancuso

Mariza de Camargo

# **ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

## **REALIZAÇÃO**

**DETA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**FREDERICO WESTPHALEN**

1ª EDIÇÃO

**FACOS-UFSM**

2021

# CRÉDITOS

Capa: Júlia Dalcin  
Projeto Gráfico: Tayná Steiger Mai  
Diagramação: Júlia Dalcin e Tayná Steiger Mai

Organizadores:  
Aline Ferrão Custódio Passini  
Lorimar Francisco Munaretto  
Malva Andrea Mancuso  
Mariza de Camargo

E57      Engenharia e tecnologia ambiental [recurso eletrônico] /  
            organizadores Aline Ferrão Custódio Passini ... [et al]. –  
            1. ed. – Frederico Westphalen, RS : FACOS-UFSM, 2021.  
            1 e-book : il.

            1. Gestão ambiental 2. Tecnologias ambientais 3. Recursos  
            hídricos 4. Sustentabilidade I. Passini, Aline Ferrão Custódio

            CDU 504.06  
            556.18

Ficha catalográfica elaborada por Alenir Goularte CRB-10/990  
Biblioteca Central - UFSM

**ISBN 978-65-5773-030-0**

Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen  
Linha 7 de Setembro s/n  
BR 386 Km 40  
Frederico Westphalen - RS  
CEP: 98400-000  
(55) 3744-0600  
ufsmfw@ufsm.br



*Campus da Universidade Federal de Santa Maria  
em Frederico Westphalen*



## APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresentamos o livro Engenharia e Tecnologia Ambiental, em 2021. Os artigos aqui compartilhados abordam diferentes temas da área da Engenharia e das Tecnologias Ambientais, de interesse acadêmico e profissional. Apresentamos, a seguir, uma breve descrição dos estudos e das pesquisas desenvolvidas por docentes do Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, do Campus de Frederico Westphalen e que compõem os capítulos desta publicação.

Os benefícios do uso da compostagem doméstica como destinação ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos produzidos na área urbana de Seberi (RS) foram avaliados por Hempe, Borba, Passini e Munaretto, que destacam no primeiro capítulo desta obra, os aspectos operacionais e financeiros dessa prática.

Zachi, Medeiros, Camargo, Fortes, Vernier e Altíssimo avaliaram os processos de autodepuração do córrego Lajeado Chiquinha, indicando a sua elevada capacidade de autodepuração a lançamentos de material orgânico. É no segundo capítulo que os autores detalham a aplicação do método de modelagem matemática e o ajuste dos valores do coeficiente de reaeração, que permitiram definir a capacidade de autodepuração do Lajeado Chiquinha.

O terceiro capítulo, elaborado por Immich e Soares apresenta a funcionalidade de um destilador solar piramidal ativo para a produção de água para consumo humano em situações emergenciais. O equipamento possui um painel fotovoltaico e utiliza águas de mananciais de água doce. Os autores indicam que o destilador solar ativo é de

simples entendimento, operação e manutenção, e que, apesar da dependência de variáveis meteorológicas que influenciam na produção, como a radiação solar, a temperatura ambiente, a velocidade dos ventos e a umidade relativa, o destilador foi eficiente.

Stein, Tarone, Santos, Santos, Bonissoni e Medeiros, realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de esgotos sanitários, em muitos casos, como pré-tratamento ou pós tratamento de outros reatores biológicos. No quarto capítulo, os autores avaliam o uso de diferentes meios de suporte que visam a reutilização de resíduos e a consequente diminuição de custos; destacando a robustez do reator biológico em relação à variação de cargas orgânica e hidráulica.

Ainda, sob o foco do saneamento, o trabalho de Schneider, Storck, Sangiovo, Wastowski, Golombieski, vai ao encontro à avaliação da qualidade ambiental de poços de abastecimento de água localizados em propriedades rurais do município de Taquaruçu do Sul (RS). O quinto capítulo desta obra, apresenta, com detalhe, os resultados da análise macroscópica e da avaliação microbiológica dessas águas.

A preocupação da contaminação química no compartimento ambiental “solo” levou a Costa Júnior, Rodrigues, Silva, Bazana e Trevisan a avaliar a toxicidade do glifosato a partir do modelo de bioindicador *Eisenia andrei* (minhoca). Os autores apresentam, no sexto capítulo desta obra, a sobrevida do bioindicador que foi submetido a concentrações variadas de Glifosato e substrato, assim como ao Teste de Toxicidade Aguda. O potencial de nocividade do glifosato em *Eisenia andrei* foi evidenciado por eles.

A problemática da drenagem urbana e da identificação de áreas de inundação fez Mancuso e Delarmelin desenvolver um modelo hi-

drológico para as bacias urbanas de Frederico Westphalen (RS). Com vista a dar apoio às medidas estruturais, por meio do software HEC-1, os autores indicaram as zonas críticas para o escoamento das águas superficiais e simularam cenários de cobertura do solo em ambiente urbano. No sétimo capítulo desta obra são apresentadas as áreas inundáveis da cidade e identificadas melhores práticas de uso do solo urbano.

O tema do saneamento e da aplicação de métodos matemáticos e estatísticos voltados à determinação do coeficiente de desoxigenação de águas é o foco da pesquisa realizada por Camargo, Fortes, Medeiros e Zachi, e apresentada no oitavo capítulo desta obra. Os autores aplicam o método de Thomas e o da diferença de logaritmos para obter a taxa de desoxigenação a partir da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Como resultado, indicam a velocidade com que o oxigênio é utilizado para degradar a matéria orgânica, sendo este valor de importância na modelagem de autodepuração de corpos hídricos.

No âmbito do aproveitamento de energia alternativa Foss, Seben, Munaretto e Passini apresentam, no nono capítulo deste livro, a análise de viabilidade econômica e financeira da utilização de um sistema fotovoltaico para a Casa do Estudante Universitário IV da UFSM do *Campus* de Frederico Westphalen (RS). Para avaliar a redução de custos foram considerados o consumo médio de energia e o fluxo de caixa nas situações com e sem financiamento. Os autores concluíram que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica é viável para o período analisado.

Tendo a agroecologia como ferramenta de efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) propostos pela Agenda 2030 da ONU, Aquino, Cadore e Passini apresentam, no décimo capítulo deste livro, questões socioambientais intrínsecas à produção

orgânica certificada de uma propriedade agroecológica. Os autores destacam que a atividade atende a 32 metas, contribuindo para o alcance de 13 dos 17 ODS propostos pela Agenda 2030 e que a produção orgânica certificada comprovou maior vínculo e atendimento dos objetivos 12 e 15.

Diante da preocupação da qualidade das águas de escoamento superficial em áreas urbanas, Wastowski, Benso, Sartor, Rosa e Grade avaliaram as condições de acumulação e o carreamento de poluentes durante eventos pluviométricos numa zona comercial do município de Frederico Westphalen. No décimo primeiro capítulo os autores apresentam a concentração média por evento (CME) e a análise de ocorrência do fenômeno de first-flush para os parâmetros de DBO, DQO, Fósforo, NTK e SST, indicando o alto potencial poluidor das águas de escoamento superficial nessas áreas.

No décimo segundo capítulo, Lopes, Passini, Souza Filho e Borba apresentam o “Guia prático de auditoria ambiental: informações preliminares para empresas de pequeno porte”, como um documento geral de referência para quem realiza auditorias ambientais. A partir de um estudo de caso os autores propõem uma planilha (tipo Check-List) que, ao ser aplicada, visa contribuir com o diagnóstico do empreendimento e com o início do gerenciamento ambiental da empresa.

Estamos certos de que o conjunto de artigos disponíveis nesta publicação configura uma contribuição relevante de profissionais das áreas da Engenharia e das Tecnologias Ambientais, refletindo o estado da arte e novas técnicas de abordagem de diferentes temas que envolvem as engenharias e o meio ambiente.

*Desejamos a todos uma ótima leitura!*

# SUMÁRIO

12

## **Benefícios do uso da compostagem doméstica como destinação ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos na área urbana de Seberi – RS**

*Tais Cristina Hemepe, Willian Fernando de Borba, Aline Ferrão Custódio Passini e Lorimar Francisco Munaretto.*

## **Modelagem matemática no processo de autodepuração no Lajeado Chiquinha**

*Patricia Carla Zachy, Raphael Corrêa Medeiros, Mariza de Camargo, Patricia Rodrigues Fortes, Liara Jalime Vernier, Carla Stringari Altíssimo*

22

42

## **Avaliação do uso de destilador solar piramidal ativo para produção de água para consumo humano em situações emergenciais**

*Vinícius Immich, Marcus Bruno Domingues Soares*

## **Filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de esgoto sanitário: uma revisão sistemática de literatura**

*Thais Prestes Stein, Vanessa Facó Tarone, Marieli Barbosa dos Santos, Victoria Moreira dos Santos, Keli Luiza Bonissoni, Raphael Corrêa Medeiros*

64

85

## **Qualidade ambiental de poços de água de propriedades rurais em Taquaruçu do Sul - RS**

*Silvana Isabel Schneider, Tamiris Rosso Storck, Mateus Junior Rodrigues Sangiovo, Arci Dirceu Wastowski, Jaqueline Ineu Golombieski.*

102

**Análise da toxicidade do glifosato na eisenia andrei como modelo de bioindicador da contaminação química do solo por agrotóxico**

*Jefferson Alves da Costa Júnior; Alexandre Couto Rodrigues; Ana Cláudia Guedes Silva; Chaiane Karoline Bazana; Gabriel de Menezes Trevisan*

**Modelagem hidrológica de bacias hidrográficas na área urbana de Frederico Westphalen – RS com apoio do software HEC-1**

*Mancuso, M.A., Delarmelin, W.CH.*

117

139

**Método de Thomas e método da diferença de logaritmos em estimativas para o coeficiente de desoxigenação**

*Mariza de Camargo, Patricia Rodrigues Fortes, Raphael Corrêa Medeiros, Patricia Carla Zachi*

**Viabilidade econômica e financeira de um Sistema fotovoltaico: o caso da casa do estudante universitário IV da UFSM, Campus Frederico Westphalen – RS**

*Alissana Foss, Débora Seben, Lorimar Francisco Munaretto, Aline Ferrão Custódio Passini*

157

183

**Agroecologia como ferramenta de efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável: um estudo de caso**

*Kelly Mallmann de Aquino, Jéssica Stefanello Cadore, Aline Ferrão Custódio Passini*

204

**Monitoramento de carreamento de poluentes em superfícies urbanas impermeabilizadas: caso de estudo de uma zona comercial em Frederico Westphalen**

*Arci Dirceu Wastowski, Marcos Roberto Benso, Daniela Sartor, Genesio Mario da Rosa, Bruna Thais Lauer Grade*

**Guia prático de auditoria ambiental: informações preliminares para empresas de pequeno porte**

*Filipe Leites Lopes, Aline Ferrão Custódio Passini, Nilson Evilásio de Souza Filho, Willian Fernando de Borba, Bruna Thais Lauer Grade*

225

# Benefícios do uso da compostagem doméstica como destinação ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos na área urbana de Seberi - RS

Tais Cristina Hempe (\*), Willian Fernando de Borba, Aline Ferrão Custódio Passini e Lorimar Francisco Munaretto.

\* Universidade Federal de Santa Maria Campus Frederico Westphalen - RS, taishempe19@gmail.com

## RESUMO

Esse estudo visa analisar, sobre o aspecto operacional e financeiro, os benefícios da implementação de um sistema de compostagem doméstica no Município de Seberi - RS. Foi realizado os comparativos mensais dos resíduos destinados pelo Município ao CIGRES, entre os anos de 2018, 2019 e parcialmente de 2020, totalizando uma variação negativa, a partir da implantação de 300 composteiras de 246,30 toneladas, indicando desta forma resultados positivos, no aspecto ambiental. Referente aos custos anuais da destinação dos resíduos de Seberi ao CIGRES, foram de R\$ 240.656,01 em 2018, R\$ 363.782,79 em 2019 e R\$ 214.928,26 até julho de 2020. Os custos se mantiveram altos, pois variam conforme demanda do aterro. Investimentos previstos em infraestrutura e equipamentos, pretendem reduzir os custos mensais. A partir dos dados de geração, custos e custo médio por tonelada, foi realizada cenários de redução de resíduos gerados. Em um cenário com 10 % (Cenário 1) de redução mensal na destinação de resíduos orgânicos, obter-se-ia uma redução total de 277,6 toneladas e R\$ 39.406,12 de economia para os cofres públicos; cenário de 20 % (Cenário 2), um total de 555,21 toneladas e R\$ 127.343,23 de economia; cenário de 30 % (Cenário 3) um total de 832,82 toneladas e R\$ 198.218,70 de economia, durante os anos de 2018, 2019 até julho de 2020.

A definição dos cenários indicou que, com um sistema de compostagem eficiente em toda a área urbana do município, os resultados são positivos, tanto no cenário ambiental quanto econômico.

**Palavras-chave:** *adubo orgânico, compostagem doméstica, educação ambiental, sustentabilidade, aterro sanitário.*

## ABSTRACT

This study analyzed, on the operational and financial aspect, the benefits of implementing a domestic composting system in the Municipality of Seberi - RS. Monthly comparisons of waste by Seberi to CIGRES were carried out between the years 2018 and partially 2020, totaling a negative variation, from the implementation of 300 compost hubs of 246.30 tonnes, thus indicating positive results, in the environmental aspect. Regarding the annual costs for the disposal of Seberi waste to CIGRES, it was R\$ 240,656.01 in 2018, R\$ 363,782.79 in 2019 and R\$ 214,928.26 until July 2020. Costs remained high, as they vary according to demand to landfill. Production investments in infrastructure and equipment, aims to reduce monthly costs. From the data of generation, costs and average cost per ton, the reduction of waste generated was carried out. In a scenario with 10% (Scenario 1) of monthly reduction in the destination of solid waste, a total reduction of 277.6 tonnes and R\$ 39,406.12 would be obtained for public coffers; scenario of 20% (Scenario 2), a total of 555.21 tonnes and R\$ 127,343.23 in savings; scenario of 30% (Scenario 3) a total of 832.82 tonnes and R\$ 198,218.70 savings, during the years 2018, 2019 until July 2020. A definition of the indicated scenarios that, with a composting system in efficient the entire urban area of the municipality, the results are positive, both in the environmental and economic scenario.

**Key Words:** *organic fertilizer, domestic composting, environmental education, sustainability, landfill.*

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acelerado, a utilização inadequada dos recursos naturais, a falta de um planejamento urbano eficiente associado às deficiências de um sistema sanitário, acabam ocasionando a degradação dos recursos naturais, sobretudo dos recursos hídricos. Os problemas de despejo inadequado de efluente, lançamento de resíduos sólidos às margens de cursos d'água e a ocupação inadequada das margens, causam impactos ambientais, tais como a poluição das águas.

A atividade humana gera um alto volume de resíduos sólidos que, se não destinados corretamente, acarretam sérios problemas ambientais. Devido à expansão e adensamento das zonas urbanas, os problemas aumentaram, e a infraestrutura sanitária adequada não acompanhou este ritmo (REZENDE et al., 2013). Diante disso, é necessário a realização de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

A coleta seletiva e a reciclagem são alternativas eficientes para o destino dos resíduos sólidos (SANTOS, 2011). Para os resíduos orgânicos a forma mais comum de reciclagem é a compostagem e a biodigestão (ESA, 2014), mas atualmente, menos de 2% dos resíduos sólidos urbanos são destinados para compostagem (BRASIL, 2012). Na Alemanha, cada pessoa recolhe e separa mais de 100kg destes resíduos por ano, totalizando 9 milhões de toneladas (ALEMANHA, 2013). Sendo assim, a compostagem transforma a fração orgânica dos RSU em adubo orgânico, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, municípios de pequeno porte possuem alguns benefícios, como a maioria das residências serem do tipo horizontal (casas), as quais, na maioria das vezes, possuem espaço físico para

a implementação de um sistema de compostagem. Os custos de disposição dos RSU, na maioria das vezes, são relativos ao montante gerado, sendo que os resíduos orgânicos representam, na maioria das situações, valores superiores a 50 % do peso do RSU. Na região noroeste do RS, a fração de orgânicos/rejeitos chega a representar 65,80 % (BORBA, 2019).

Sendo assim a compostagem auxilia na coleta seletiva Municipal, reduzindo o volume destinado e conseqüentemente os custos para a prefeitura. Este trabalho tem por objetivo, analisar os benefícios da implementação da compostagem doméstica em residências da zona urbana do Município de Seberi - RS, analisando o volume de resíduos destinados entre 2018 e julho 2020, além dos custos de destinação no mesmo período, verificar a eficiência do sistema com vista a aprimorar a coleta seletiva, também identificar possíveis falhas e propor ações corretivas.

## METODOLOGIA

A área objeto desse estudo é o município de Seberi, situado no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - RS. Seberi conta com uma área de 301 km<sup>2</sup>, e está sob coordenadas latitude 27°28'4" S e longitude 53°24'09", oeste de Greenwich (IBGE, 2010).

Conforme censo IBGE (2010) a população do município era de 10.897 pessoas, a atividade principal, no município e na região, é a agricultura familiar e atividade animal como pecuária de leite e corte (PRGIRS - CIGRES). No município, na BR 386, km 43, localiza-se o Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos (CIGRES), o qual recebe uma média mensal de 1.700 toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) provenientes de 30 municípios da região, incluindo

o município do estudo.

Os RSU de Seberi, tradicionalmente são acondicionados em sacolas plásticas, embalagens de papel ou papelão e dispostos em coletoras posicionadas em frente as residências, comércios ou pontos estratégicos de coleta, ou dispostos inadequadamente (onde não há lixeiras), então são coletados e encaminhados ao CIGRES distante cerca de 6 km do município (PRGIRS - CIGRES). O município conta com sistema de coleta seletiva, realizada em dias alternados, indicado em calendário de coleta, conforme figura 1.

**Figura 1** Roteiro da coleta de resíduos na área urbana de Seberi - RS.

Fonte: Comissão Municipal do projeto de compostagem.

Bairro / Imediações	Segunda	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
Av. Flores da Cunha até a BR 386 (Lado da BR)	Manhã						
Av. Flores da Cunha até o cemitério e piscina	Manhã						
Esquina R. João Pessoa com a R. Pinheiro Machado sentido loteamento São Cristóvão	Manhã						
Av. Flores da cunha e condomínios	17 horas						
Ervateira Realeza até o posto Kakareko (Margens da BR 386)	Tarde						

ORGÂNICOS / REJEITOS	SECOS / RECICLÁVEIS
----------------------	---------------------

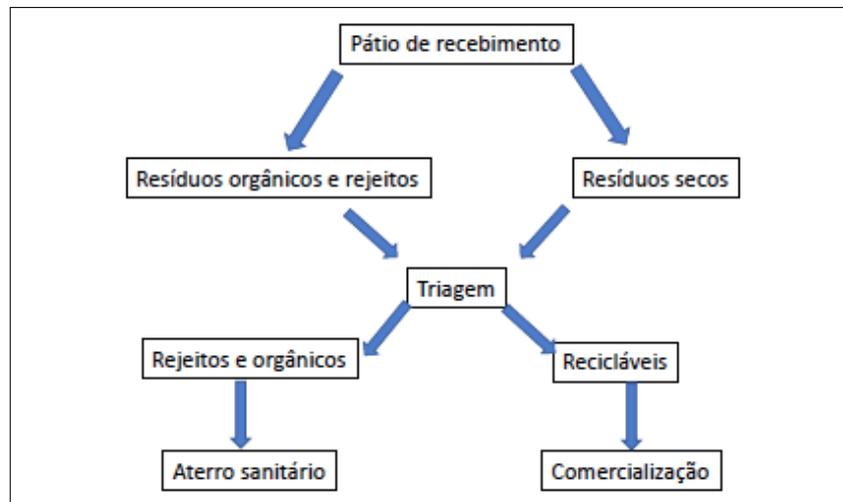
LEMBRE-SE DE COLOCAR O RESÍDUO PARA COLETA PRÓXIMO AO HORÁRIO DE COLETA  
A COLETA SELETIVA COMEÇA NA SUA RESIDÊNCIA!

Quando os resíduos chegam ao pátio de recebimento do CIGRES, são descarregados em locais diferentes (secos/recicláveis e orgânicos + rejeitos), e seguem o fluxograma indicado na Figura 2.

Após o descarregamento, esses são encaminhados para triagem, onde separa-se a fração reciclável, para posterior venda, e os rejeitos e orgânicos são encaminhados para o aterro sanitário. No momento não está ocorrendo o processo de compostagem. Os resíduos orgânicos e os rejeitos passam pelo processo de triagem, para a retirada de material reciclável (sacolas, por exemplo).

**Figura 2 Fluxograma de recebimento, destinação e disposição final dos RSU.**

Fonte: Autoria própria.



O município conta, desde novembro do ano de 2018, com o projeto “Aperfeiçoamento das práticas para o correto destino dos resíduos sólidos domésticos, produzidos pelos municípios consorciados ao CIGRES”. A prefeitura Municipal de Seberi - RS e a comissão do projeto, vem realizando atividades de educação ambiental no município. Em 2019, através do Fundo de Desenvolvimento Regional (FDR) do Sicredi, foram adquiridas e instaladas 300 composteiras, para realização do processo de compostagem dos resíduos orgânicos, em residências de Seberi.

Essa ação visa reduzir a destinação de resíduos orgânicos destinados ao CIGRES. Para que fosse realizado uma análise quantitativa de resíduos destinados e os custos de destinação, obteve-se, a partir do banco de dados disponibilizados pelo CIGRES, a quantidade de resíduos (toneladas) e os custos (R\$) da destinação mensalmente durante os anos de 2018, 2019 e parcialmente de 2020. Também foi possível analisar a eficácia dos sistemas de compostagem caseiras, no que tange quantidade de resíduos e custos de destinação.

Foram elaborados cenários referentes a redução do volume de resíduos gerados, simulando a eficiência do sistema de compostagem

na área urbana, bem como o impacto econômico disso para o município. Os cenários envolvem a redução de 10, 20 e 30 % do montante gerado no município.

## RESULTADOS

Na tabela 1, apresenta-se os volumes mensais dos resíduos gerados (em toneladas) pelo município de Seberi - RS, nos anos de 2018, 2019 e entre os meses de janeiro e julho de 2020. Estabelece-se no estudo o uso do termo custo para representar os gastos com custos e despesas. Como pode ser observado, ocorreu uma oscilação na geração dos RSU, seja em escala anual ou mensal. Isso pode estar relacionado a mudanças de padrões de consumo, questões culturais ou até mesmo ações relacionadas a gestão e gerenciamento de RSU ou educação ambiental desenvolvidas no Município.

**Tabela 1**

### **Geração mensal (Em toneladas) dos resíduos sólidos do município de Seberi - RS.**

Fonte: Construído a partir de informações disponibilizadas pelo CIGRES

Meses	2018	2019	2020
Janeiro	130,18	139,28	139,50
Fevereiro	146,09	112,35	139,52
Março	123,64	117,19	118,82
Abril	173,83	117,19	121,54
Maio	86,12	145,89	116,34
Junho	141,41	145,89	117,08
Julho	166,85	145,89	150,22
Agosto	147,82	136,62	-
Setembro	147,77	123,84	-
Outubro	144,62	119,72	-
Novembro	166,12	156,01	-
Dezembro	120,88	126,17	-
<b>Total (toneladas)</b>	<b>1.695,33</b>	<b>1.586,04</b>	<b>903,02</b>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, percebe-se que as ações de educação ambiental, principalmente relacionado ao processo de gestão dos resíduos sólidos é de suma importância. Na área de estudo, os primeiros resultados se iniciaram com a boa adesão ao sistema de compostagem doméstica, até a melhoria do sistema de coleta seletiva.

A partir da análise dos resultados de volume de resíduos destinados ao CIGRES do município de Seberi, obteve-se uma oscilação negativa de 187,94 toneladas, no ano de 2019, e nos meses de 2020, obteve-se oscilação negativa que totaliza 58,36 toneladas. Verifica-se então uma oscilação negativa total, a partir da implantação do projeto e até o mês de julho de 2020 de 246,30 toneladas, ou seja em torno de 8,8 % de redução em 21 meses, pode-se concluir que o projeto está apresentando resultados positivos no que se refere a compostagem da fração orgânica, e conseqüentemente, variações no seu volume, destinado a coleta e disposição final.

Em relação aos custos de disposição, a definição dos cenários indicou que, com um sistema de compostagem eficiente em toda a área urbana do município, os resultados são positivos, tanto no cenário ambiental quanto econômico. Os resultados indicaram que com uma redução de 30 % no montante gerado, ocorre um abatimento de valores superiores a R\$ 60.000,00 em um ano. Recomenda-se a sequência das ações relacionadas a educação ambiental e ao sistema de compostagem nas residências. Além disso, o acompanhamento da geração para o planejamento das ações futuras é de extrema importância, visando andamento nesse estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALEMANHA. Ministério Federal do Meio Ambiente. **Ecologically sustainable recovery of bio-waste**. Alemanha: Ministério Federal do Meio Ambiente. 2013. Disponível em: <[https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ecologically\\_sustainable\\_recovery\\_of\\_bio-waste\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ecologically_sustainable_recovery_of_bio-waste_bf.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2020.
- BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: 2012. Disponível em: <[http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/plano\\_nacional\\_residuos\\_solidos.pdf](http://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/plano_nacional_residuos_solidos.pdf)> Acesso em: 05 de mai. de 2020.
- BORBA, W. F. **Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. Disponível em: <<https://portal.ufsm.br/biblioteca/pesquisa/index.html>>. Acesso em: 12 maio 2020.
- CIGRES – Consórcio Intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos. **Plano regional de gestão integrada de resíduos sólidos dos municípios integrantes do consórcio intermunicipal de gestão de resíduos sólidos** – CIGRES. Disponível em: <<http://cigres.com.br/admin/uploads/files/Plano%20parte%201.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2020.
- COMPOSTA SÃO PAULO. Movimento Composta São Paulo. 2014. Disponível em: <https://www.compostasaopaulo.eco.br/resultados2014/#home/44>. Acesso em 23 set 2020.
- FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P. **Life cycle assessment of energy from solid waste--part 1: general methodology and results**. *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 3, p. 213–229, 2005.
- GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010) **Pesquisa nacional por amostra de domicílios (PNAD)**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>>. Acesso em: 29 jun. 2020.
- MAESTRI, A. B.; GIORDANI, B. B.; WARTCHOW, D.; THOMÉ, É.; ROBALLO, G. S. **O impacto da compostagem na redução de resíduos dispostos em aterro sanitário: estudo de caso do município de Liberato Salzano**. Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE. 2019. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/210561/001107331.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 ago. 2020.
- MARCHETTINI, N.; RIDOLFI, R.; RUSTICI, M. An environmental analysis for comparing waste management options and strategies. **Waste Management**, v. 27, n. 4, p. 562–571, 2007.
- REZENDE, Jozrael Henriques et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Eng. Sanit. Ambient.** [online], v 18, n. 1, p. 1-8, 2013. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000100001&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522013000100001&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 29 maio de 2020.
- SANTOS, Amanda T. L.; HENRIQUE, Nirvani S.; SHHLINDWEIN, Elvino F.; STACHIW, Rosalvo. **Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico**. Disponível

em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Aproveitamento-da-fra%C3%A7%C3%A3o-org%C3%A2nica-dos-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-para-produ%C3%A7%C3%A3o-de-composto-org%C3%A2nico.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2020.

ZAMBON, Matheus Moraes. **Alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos ur-**

**banos: um estudo de caso na cidade de Florianópolis.** Dissertação Pós-Graduação Engenharia de Produção, UFSC. 2017. 150p. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/181243/348713.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 22 set. 2020.

# Modelagem matemática no processo de autodepuração no Lajeado Chiquinha

Patricia Carla Zachi (\*), Raphael Corrêa Medeiros, Mariza Camargo, Patricia Rodrigues Fortes, Liara Jalime Vernier, Carla Stringari Altíssimo

\*Universidade Federal de Santa Maria Campus de Frederico Westphalen, e-mail patriciazachi@hotmail.com

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o processo de autodepuração do Lajeado Chiquinha, no município de Frederico Westphalen/RS. Desse modo, realizaram-se três coletas de amostras de água, durante os meses de agosto a outubro de 2017, em quatro pontos de monitoramento. Os dados obtidos foram empregados para avaliar o processo de autodepuração, através do modelo de Streeter e Phelps, e determinar matematicamente o coeficiente de desoxigenação ( $k_1$ ) a água pelos métodos matemáticos de Thomas e da Diferença de Logaritmos. Observou-se que a introdução de matéria orgânica e interferências através do escoamento superficial são constantes ao longo do trecho do Lajeado analisado, porém apresentando problemas mais significativos no ponto P1. Os valores estimados de  $k_1$  foram mais precisos pelo método de Thomas, no entanto, apresentaram valores muito baixos, sendo substituídos no equacionamento de Streeter e Phelps pelo coeficiente de decomposição. Os valores do coeficiente de reaeração precisaram ser ajustados às condições do curso d'água, o qual indicou uma elevada capacidade de autodepuração aos lançamentos de material orgânico.

**Palavras-chave:** Streeter e Phelps, qualidade da água, Método de Thomas, Método da Diferença de Logaritmos.

## ABSTRACT

This research had the objective of evaluating the self-depuration process of Creek Chiquinha, in the municipality of Frederico Westphalen - RS. In this way, three water collections were carried out during the months of August to October 2017, in four monitoring points. The obtained data were used to evaluate the self-depuration process, using the Streeter and Phelps model, and to determine the coefficient of deoxygenation ( $k_1$ ) by the Thomas and Difference of Logarithms mathematical methods. It was observed that the introduction of organic matter and interferences through surface runoff are constant along the analyzed section of the creek but present more significant problems at the P1 (first collection point). The estimated values of  $k_1$  were more accurate by the Thomas method, but they presented very low values, being replaced by the coefficient of decomposition in the Streeter and Phelps equation. The coefficient of reaeration values had to be adjusted to the conditions of the water course, which indicated a good capability of organic matter assimilation.

**Key words:** *Streeter and Phelps, water quality, Method Thomas, Method log difference.*

## INTRODUÇÃO

O crescimento populacional acelerado, a utilização inadequada dos recursos naturais, a falta de um planejamento urbano eficiente associado às deficiências de um sistema sanitário, acabam ocasionando a degradação dos recursos naturais, sobretudo dos recursos hídricos. Os problemas de despejo inadequado de efluente, lançamento de resíduos sólidos às margens de cursos d'água e a ocupação inadequada das margens, causam impactos ambientais, tais como a poluição das águas.

Devido à grande importância dos recursos hídricos, surgem normas e resoluções a fim de disciplinar a utilização da água pela sociedade. Criada em 1997, através da Lei 9.433, a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) tem como um dos objetivos assegurar a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos para a atual e futuras gerações. E a Resolução CONAMA 357/2005 classifica os recursos hídricos do Território Nacional, conforme seus usos preponderantes, e estabelece padrões de qualidade da água que devem ser alcançados e mantidos.

Nos países em desenvolvimento, uma das principais causas de poluição dos cursos d'água é o lançamento de esgotos, que resulta no consumo de oxigênio dissolvido da água por microrganismos heterotróficos durante os processos de degradação do material orgânico (VON SPERLING, 2014b). Por isso a importância de determinar a qualidade do efluente a ser lançado, sendo que a Resolução CONAMA 430 (2011, p. 01) “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores”.

Após a introdução da matéria orgânica biodegradável em um cor-

po hídrico, há o restabelecimento do equilíbrio, por meio de um processo de recuperação, conhecido como autodepuração, que ocorre através de mecanismos naturais (GUEDES, 2009). O processo de autodepuração representa estágios de sucessão ecológica, que podem ser associados a zonas no rio, por ser desenvolvido ao longo do tempo e na dimensão longitudinal do curso d'água (VON SPERLING, 2014b).

A fim de aumentar a eficiência no controle da poluição, devido ao lançamento de efluentes brutos nos corpos hídricos, surgem os modelos matemáticos de qualidade da água. Sendo que o primeiro modelo de qualidade das águas de rios foi desenvolvido em 1925, por Streeter e Phelps, no rio Ohio, nos Estados Unidos, e permite a modelagem de Oxigênio Dissolvido (OD) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (CARVALHO et al., 2014). Esse modelo possui diversos parâmetros de entrada, sendo um desses o coeficiente de desoxigenação da água  $k_1$  correspondente à velocidade com que o oxigênio é consumido até estabilizar a matéria orgânica. Existem vários métodos matemáticos e estatísticos para determinação de  $k_1$  dentre os mais conhecidos estão: o Método de Thomas e o Método da Diferença de Logaritmos (VON SPERLING, 2014b).

A partir do fim da década de 1950, com o desenvolvimento de técnicas laboratoriais e o uso de computadores, os métodos voltados à investigação da qualidade das águas tornaram-se mais complexos. Surgiram, assim, outros modelos, que simulam um número maior de parâmetros e processos (CHAPRA, 1997 apud GUEDES, 2009), mas utilizam o princípio básico do modelo de Streeter e Phelps (ANDRADE, 2010).

Neste trabalho, buscou-se avaliar a capacidade de autodepuração do Lajeado Chiquinha (localizado em Frederico Westphalen/RS), através do modelo de Streeter e Phelps. A modelagem matemática da qualidade da água do Lajeado Chiquinha visa a fornecer infor-

maçõs importantes para o adequado diagnóstico dos problemas de qualidade da água do local, podendo ser uma ferramenta que auxiliará na tomada de decisões em relação ao manejo hídrico do local. Através do processo de autodepuração é possível determinar a capacidade de recuperação natural do corpo hídrico e os pontos críticos de degradação ao longo do trecho analisado.

## METODOLOGIA

O município de Frederico Westphalen (FW) está localizado na região do Médio Alto Uruguai, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, numa latitude 27°21'33" Sul e a uma longitude 53°23'40" Oeste, e encontra-se a uma altitude de 566 metros (IBGE, 2016; PMFW, 2017).

Possui um clima subtropical, apresentando as estações do ano bem definidas, e temperatura média anual de 19,1°C. A economia está baseada principalmente na produção agropecuária e industrial (PMSB, 2011).

O crescimento populacional de Frederico Westphalen foi acompanhado por uma falta de planejamento urbano, conseqüentemente, ocorreram ocupações irregulares, despejos inadequados de cargas orgânicas, juntamente com a deterioração da qualidade de seus cursos hídricos localizados na área urbana.

O Lajeado Chiquinha está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea e é um dos córregos que sofre com toda esta situação, possuindo sua nascente localizada no centro de Frederico Westphalen, sendo local de despejos irregulares de efluentes brutos e tratados, lançamento de diversos resíduos sólidos e ocupações irregulares nas suas margens, com sua foz no Rio da Várzea.

## PLANO DE AMOSTRAGEM

### Localização dos pontos de amostragem

O percurso do córrego Lajeado Chiquinha, delimitado para o estudo, possui quatro pontos de amostragem (P1, P2, P3 e P4), com diferentes formas de uso e ocupação do solo. As coordenadas geográficas, distâncias e altitude destes quatro pontos estão expostas no Quadro 1.

#### Quadro 1 Características geográficas dos pontos, distância entre eles e altitude, no Lajeado Chiquinha.

Fonte: Autores

	Coordenadas geográficas (UTM)		Distância (km)	Altitude (m)
	Latitude	Longitude		
P1	-27,355226	-53,3887	0	482
P2	-27,35949	-53,38088	1	414,932
P3	-27,35966	-53,37428	0,63	399,79
P4	-27,35973	-53,36586	0,94	330,817

No Quadro 2, estão apresentadas algumas características dos referidos pontos de coleta. O percurso abrange formas de uso e ocupação do solo, tanto urbana como agrícola, também é relatada a descrição dos locais entre os pontos de coleta.

#### Quadro 2 Características de uso e ocupação do solo dos pontos de amostragem, no Lajeado Chiquinha.

Fonte: Autores

Pontos	Descrição do Local
P1	Limite com a galeria pluvial que drena a parte urbana do Córrego até o Bairro Santo Inácio; Nas margens ocorre a deposição de diversos resíduos (móveis, madeira, construção civil, resíduo orgânico e domissanitários, ...) e a ocupação irregular das margens;

P1	Água do córrego apresenta coloração acinzentada e presença de musgo escuro nas rochas.
P1 a P2	Lançamento de efluente doméstico das três ETE; Margem com proteção de vegetação entre as canalizações das ETE 2 e 3; Transição de área urbana para agrícola.
P2	Margens com proteção de vegetação; Tráfego de veículos (ponte).
P2 a P3	Margens com proteção de vegetação; Entrada de tributário (afluentes).
P3	Apenas uma das margens possui proteção de vegetação; Margem próxima à lavoura; Uso e ocupação do solo agrícola e pecuário.
P3 a P4	Entrada de tributário (afluente). Uso e ocupação do solo agrícola e pecuário.
P4	Antiga ponte (abandonada); Sem margem de proteção de vegetação; Uso e ocupação do solo agrícola e pecuário.

## Obtenção de amostras

As coletas de amostras de água do Lajeado Chiquinha foram realizadas no período de agosto a outubro de 2017, totalizando três apreciações. As amostras foram coletadas e armazenadas de acordo com as técnicas de coleta e preservação de amostras exigíveis pelas normas da ABNT 9898/1987, para as análises laboratoriais de oxigênio dissolvido (OD) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

## AUTODEPURAÇÃO

### Estimativa do coeficiente de desoxigenação

O coeficiente de desoxigenação da água  $k_1$  foi determinado através de métodos matemáticos associados a resultados de análises laboratoriais. em termos da amostra de água coletada no ponto p1,

correspondente à área de maior despejo de efluente, tem-se que esta amostra foi diluída em água autoclavada e preparada, nas concentrações de 5 ml, 10 ml, 20 ml, em frascos de âmbar com capacidade de, aproximadamente, 300 ml. As amostras foram incubadas, à temperatura de 20°C e a leitura do oxigênio dissolvido (OD) foi realizada com a sonda multiparâmetros AP 900 (AQUAREAD®).

Para a determinação da DBO exercida nos dias da leitura, foi utilizada a equação 1, e posteriormente realizada uma média por dia das três diluições utilizadas.

$$DBO_{x,20} = (OD_i - OD_x) \frac{V_f}{V_a} \quad (01)$$

Onde:

$DBO_{x,20}$  : DBO em determinado tempo ( $x$ ) ( $mg/L$ ), a 20°C

$OD_i$  : oxigênio dissolvido inicial ( $mg/L$ )

$OD_x$  : oxigênio dissolvido em determinado tempo ( $x$ ) ( $mg/L$ )

$V_f$  : volume do frasco padrão de DBO ( $ml$ )

$V_a$  : volume da amostra ( $ml$ ).

Os dados obtidos em laboratório (DBO exercida dos determinados dias) foram aplicados nos métodos matemáticos, de Thomas e da diferença de logaritmos, para encontrar o coeficiente de desoxigenação ( $k_1$ ) e DBO última ( $L_0$ ).

Para aplicação do método de Thomas foi elaborado um gráfico, com os valores de  $y \times t$  neste caso, sendo  $y$  a DBO exercida no tempo  $t$  em  $mg/L$  através de regressão linear  $y = at + b$  utilizando o método de mínimos quadrados, obtiveram-se os coeficientes da reta ( $a$  e  $b$ ) e assim foram estimados os valores de  $k_1$  e  $L_0$  pelas equações 2 e 3 (ARAGÃO, 2016).

$$k_1 = \frac{6a}{b} \quad (2)$$

$$L_0 = \frac{1}{b^3 k_1}. \quad (3)$$

Pelo Método da Diferença de Logaritmos, a partir dos dados laboratoriais foi elaborado um gráfico, com os valores de  $r \times t$ , onde  $r: \log\left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)$ . Através da regressão linear  $y = at + b$ , usando o método dos mínimos quadrados, foram obtidos os coeficientes  $a$  e  $b$  para posteriormente calcular  $k_1$  e  $L_0$  (ARAGÃO, 2016), através das Equações 4 e 5.

$$k_1 = -a \quad (4)$$

$$L_0 = \frac{10^b}{2,3k_1}. \quad (5)$$

O método que apresentou o maior grau de aproximação entre os valores estimados e observados, ou seja, na regressão o  $R^2$  mais próximo de um, foi o escolhido para estimar os valores de  $k_1$  e  $L_0$ . Estes valores foram, então, aplicados no modelo de Streeter e Phelps, para a análise de autodepuração do Lajeado Chiquinha. A descrição detalhada do equacionamento matemático encontra-se em Zachi (2017) e no capítulo intitulado “Método de Thomas e Método da Diferença de Logaritmos em Estimativas para o Coeficiente de Desoxigenação” do mesmo ebook de publicação deste trabalho.

### Estimativa do coeficiente de reaeração

Para determinar o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) pode-se utilizar valores tabelados ou também conhecer as características hidráulicas do corpo hídrico, como:  $v$  = velocidade do curso d'água ( $m/s$ ),  $H$  = altura da lâmina d'água ( $m$ ),  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ ),  $i$  = declividade ( $m/km$ ), etc.

Devido à ampla variação dos valores de  $k_2$ , utilizaram-se três formas de determinação do coeficiente e, posteriormente, foi re-

alizada uma média geométrica com os três valores. Sendo assim, foi utilizado o  $k_2$  referente a rios rápidos e rasos e as Equações de Owens e de Tsivoglou e Wallace (VON SPERLING, 2014b).

### Modelagem matemática de Streeter e Phelps

A concentração de oxigênio logo após a mistura ( $c_0$ ) foi estipulada como sendo a concentração de OD do ponto 1 (P1), pelo fato deste ponto se encontrar com alta diluição de efluente despejado. A modelagem de Streeter e Phelps será em função do OD.

O déficit inicial de oxigênio ( $D_0$ ), ou seja, logo após a mistura, foi determinado pela equação  $D_0 = C_s - c_0$ , que representa a diferença entre a concentração de saturação de oxigênio ( $C_s$ ) e a concentração de oxigênio logo após a mistura (VON SPERLING, 2014b).

O tempo crítico foi calculado pela Equação (6):

$$t_c = \frac{1}{k_2 - k_1} \ln \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{(C_s - c_0)(k_2 k_1)}{L_0 k_1} \right] \right\}. \quad (6)$$

O tempo crítico representa o tempo no qual o déficit máximo de oxigênio será atingido, ou seja, o tempo em que ocorre a menor concentração de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 2014b). Conhecendo o tempo crítico ( $t_c$ ) e a velocidade do curso d'água ( $v$ ) encontra-se a distância crítica ( $d_c$ ) no trecho em estudo, dada pela equação  $d_c = t_c v$ . Com as informações anteriores, foram determinados o déficit crítico e a concentração de oxigênio crítico, através das Equações 7 e 8.

$$D_c = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c} D_0 = \frac{k_1}{k_2} L_0 e^{-k_1 t_c} \quad (7)$$

$$C_c = C_s - D_c C_c = C_s - D_c \quad (8)$$

Caso a concentração mínima de oxigênio se encontre abaixo dos padrões permitidos pela legislação, devem ser tomadas medidas de controle ambiental.

Na construção do perfil de oxigênio dissolvido no decorrer do tempo, foi utilizada a Equação 9.

$$C_t = C_s - \left\{ \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) + (C_s - C_0) e^{-k_2 t} \right\}. \quad (9)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### AUTODEPURAÇÃO

#### Estimativa do coeficiente de desoxigenação

Inicialmente, observou-se, em laboratório, o comportamento do oxigênio durante um período de 20 dias. Na Tabela 1, são relatados os valores de  $a$  e  $b$ , encontrados para as regressões pelos dois métodos utilizados, de Thomas e da Diferença de Logaritmos (DL), o  $R^2$ , e os valores de  $k_1$  e  $L_0$  estimados pelos dois métodos. Observando os valores obtidos de  $R^2$ , é notório que, em todas as análises, o método de Thomas apresentou melhor aproximação entre os valores observados e calculados.

**Tabela 1**

**Valores de  $k_1$  e  $L_0$  obtidos pelos Métodos de Thomas e da Diferença de Logaritmos.**

Fonte: Autores.

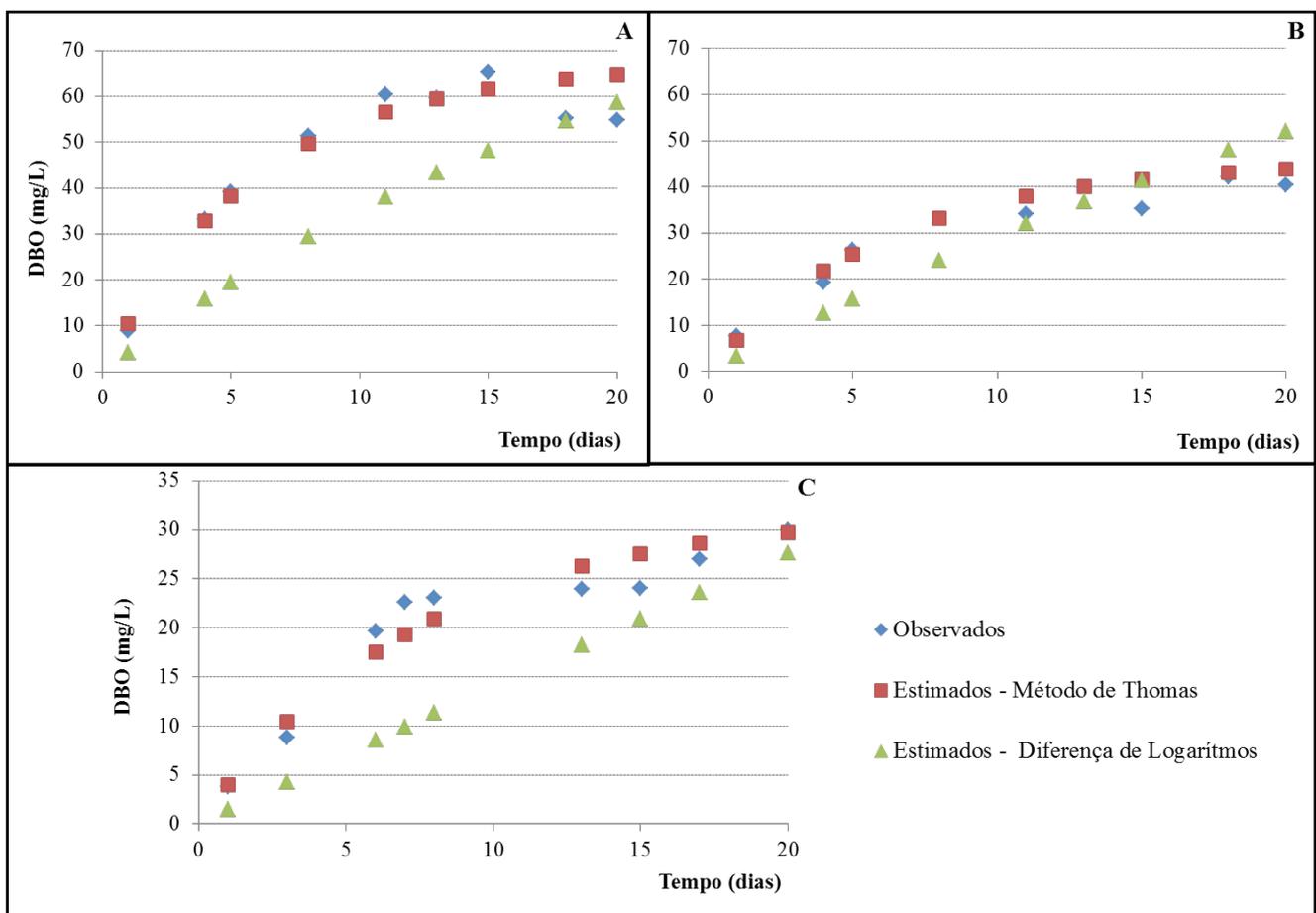
Análise	Métodos	$a$	$b$	$R^2$	$k_1 (d^{-1})$	$L_0 (mg.L^{-1})$
1	Thomas	0,013	0,445	0,964	0,170	66,849
	DL	-0,041	0,996	0,925	0,041	104,450
2	Thomas	0,014	0,514	0,976	0,162	45,537
	DL	-0,026	0,886	0,572	0,026	127,072
3	Thomas	0,014	0,618	0,913	0,132	31,986
	DL	-0,004	0,520	0,131	0,004	338,503

Na Figura 1, estão ilustrados os valores observados para a DBO ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) em laboratório e os estimados pelos seus determinados métodos, podendo ser notado que os valores estimados pelo método da DL apresentaram uma diferença maior em comparação aos valores observados.

**Figura 1**

**DBO exercida × observada no tempo, pelo Método de Thomas e da Diferença de Logaritmos, para as três coletas; primeira (A); segunda (B) e terceira (C).**

Fonte: Autores.



Pode-se observar, na Figura 1, que as estimativas pelo Método de Thomas se mostram mais próximas aos dados observados (reais).

### Estimativa do coeficiente de decomposição da DBO do rio

Pelo fato de o Lajeado Chiquinha ser raso e rápido, foi determinado

o denominado coeficiente de decomposição da DBO do rio ( $k_d$ ), pois segundo Von Sperling (2014a), este coeficiente se aproxima mais das condições do corpo d'água do que os valores do coeficiente  $k_1$ , determinado pelos métodos de Thomas e da Diferença de Logaritmos com dados obtidos em laboratório. A estimativa de  $k_d$  foi obtida através da profundidade do curso d'água, como pode ser visualizado na Tabela 2.

**Tabela 2****Valores do coeficiente de decomposição da DBO no Lajeado Chiquinha.**

Fonte: Autores.

Pontos	Análises	Altura média da lâmina d'água (m)	$k_d^*$ (dia <sup>-1</sup> )	$k_1^\dagger$ (dia <sup>-1</sup> )
Ponto 1	1	0,0825	1,32	0,17
	2	0,0720	1,40	0,16
	3	0,1025	1,20	0,13
	<b>média</b>	<b>0,0857</b>	<b>1,31</b>	<b>0,15</b>
Ponto 2	1	0,1100	1,16	0,17
	2	0,1025	1,20	0,16
	3	0,1300	1,08	0,13
	<b>média</b>	<b>0,1142</b>	<b>1,15</b>	<b>0,15</b>
Ponto 3	1	0,1150	1,14	0,17
	2	0,1120	1,15	0,16
	3	0,1700	0,96	0,13
	<b>média</b>	<b>0,1323</b>	<b>1,09</b>	<b>0,15</b>
Ponto 4	1	0,1940	0,91	0,17
	2	0,2275	0,85	0,16
	3	0,1660	0,97	0,13
	<b>média</b>	<b>0,1958</b>	<b>0,91</b>	<b>0,15</b>

\* Equação:  $k_d = 0,3 \cdot \left(\frac{h}{2,5}\right)^{-0,434}$ 

† Determinado pelo Método de Thomas.

Observam-se, pela Tabela 2, que os valores de  $k_d$  são maiores que os de  $k_1$ , comprovando assim, que em cursos d'água rasos e rápidos eles não apresentam similaridade. Segundo Von Sperling (2014a),  $k_d$  se aproxima mais dos valores do curso d'água. Sendo assim, foi usado  $k_d$  para o desenvolvimento das equações da autodepuração.

### Estimativa do coeficiente de reaeração

Por fim, foi analisado o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) para cada coleta de amostragem, segundo três métodos obtidos pela literatura, e posteriormente calculada uma média geométrica (Tabela 3). Devido aos efeitos da temperatura, o coeficiente foi expresso na forma tradicional: a uma temperatura de 20°C.

**Tabela 3** Estimativa do coeficiente de reaeração para o Lajeado Chiquinha.

Fonte: Autores.

Pontos	Analises	$k_1^+$	$k_1^\pm$	$k_2^+$	Média geométrica <sup>F</sup>	$k_2$ (20°C) *
P1	1	1,15	0,53	-	0,78	0,84
	2	1,15	0,45	-	0,72	0,78
	3	1,15	0,42	120,71	3,87	4,16
	<b>média</b>	<b>1,15</b>	<b>0,47</b>	<b>120,71</b>	<b>1,79</b>	<b>1,93</b>
P2	1	1,15	0,13	97,63	2,46	2,64
	2	1,15	0,18	134,19	3,00	3,22
	3	1,15	0,27	114,82	3,28	3,52
	<b>média</b>	<b>1,15</b>	<b>0,19</b>	<b>115,55</b>	<b>2,91</b>	<b>3,13</b>
P3	1	1,15	0,57	112,92	4,19	4,50
	2	1,15	0,54	114,31	4,14	4,44
	3	1,15	0,60	56,73	3,39	3,64
	<b>média</b>	<b>1,15</b>	<b>0,57</b>	<b>94,65</b>	<b>3,91</b>	<b>4,19</b>
P4	1	1,15	0,39	33,24	2,46	2,64
	2	1,15	0,42	25,97	2,32	2,49
	3	1,15	0,72	67,17	3,82	4,10
	<b>média</b>	<b>1,15</b>	<b>0,51</b>	<b>42,13</b>	<b>2,87</b>	<b>3,08</b>

† Estimado segundo Von Sperling (2014a, p. 158)

‡ Estimado segundo equação de Owens (VON SPERLING, 2014a, p. 160)

† Estimado segundo equação  $k_2 = 31,6 v i$

$$= (k_{2(1)} * k_{2(2)} * \dots * k_{2(n)})^{1/n}$$

\* Correção para temperatura de 20°C

- Não utilizado em função da faixa de aplicação da equação.

Pela análise das concentrações de OD encontradas nos pontos de coleta, é possível notar que o curso d'água possui uma reaeração muito alta, e os valores encontrados para o coeficiente de reaeração, através das três formas descritas na literatura, podem não se adaptar às condições reais do curso d'água (MORAIS, 2012).

Segundo Von Sperling (2014a), os valores de  $k_2$  são muito sensíveis, em consequência, os valores encontrados através da literatura podem ou não serem semelhantes às condições do curso d'água estudado. Foram utilizadas três formas para determinação de  $k_2$  que apresentaram uma grande variação entre si. Porém, os valores encontrados não se adaptaram às condições reais do curso d'água em estudo, sendo necessário determinar valores mais próximos da realidade.

Posteriormente, foi estimado  $k_2$  a partir dos valores de OD coletados no local de estudo, e utilizando a Equação 10, obteve-se valor mais próximo das condições encontradas no curso d'água analisado, com um valor médio para  $k_2$  de  $9,89 d^{-1}$ .

$$D = D_0 e^{-k_2 t} \text{ OU } C = C_s - (C_s - C_0) e^{-k_2 t}. \quad (10)$$

Para análise do processo de autodepuração foi calculada a média individual por ponto de coleta, e realizados os cálculos dos equacionamentos propostos por Streeter e Phelps, estes estão apresentados na Tabela 4.

Realizar a calibração de um modelo matemático é um processo no qual devem ser ajustados os valores de forma com que o comportamento do sistema modelado seja mais fiel possível aos dados observados no curso d'água (MORAIS, 2012).

Pelo fato de a modelagem de autodepuração, utilizando  $k_2 = 9,89d^{-1}$ , não ter se adaptado às condições observadas no curso d'água, foram realizadas adaptações manuais no coeficiente de reaeração, até encontrar valores condizentes com o observado no curso d'água.

Essas adaptações foram realizadas com o auxílio do perfil de OD. Conhecendo os valores de OD nos pontos de coleta, foram sendo variados os valores de  $k_2$ , até encontrar um valor que nos pontos conhecidos apresentasse um valor condizente com as condições do curso d'água.

## Modelagem de Streeter e Phelps

Nas fórmulas do método matemático de Streeter e Phelps, citadas no decorrer do trabalho, o coeficiente  $k_1$  foi substituído por  $k_d$ , pelas condições do córrego ser de um curso d'água raso e rápido, apresentando um  $k_d > k_1$ , como pode ser visualizado na Tabela 4.

**Tabela 4**

**Modelagem de Autodepuração de Streeter e Phelps.**

Fonte: Autores.

Ponto	$k_d$ ( $d^{-1}$ )	$k_1$ <sup>†</sup> ( $d^{-1}$ )	$L_0$ <sup>†</sup> (mg/L)	$k_2$ <sup>‡</sup> ( $d^{-1}$ )	$C_s$ (mg/L)	$C_c$ <sup>†</sup> (mg/L)	$D_0$ (mg/L)	$T_c$ (d)	$D_c$ (mg/L)	$C_c$ (mg/L)
P1	1,31	0,15	48,12	22,50	8,54	3,08	5,46	-	-	-
P2	1,15	0,15	48,12	10,25	8,54	4,86	3,68	0,14	4,60	3,94
P3	1,09	0,15	48,12	17,00	8,54	4,46	4,08	-	-	-
P4	0,91	0,15	48,12	15,40	8,54	5,12	3,42	-	-	-

† Média coletiva dos pontos

‡ Valores adaptados

† Média individual dos pontos

Nos trechos dos pontos P1-P2, o modelo não apresentou o tempo crítico, isso se deve ao fato de o ponto crítico se encontrar antes da mistura, ou seja,  $\frac{L_0}{D_0} < \frac{k_2}{k_d}$ . Dos pontos P2-P3 foi obtido um déficit crítico ( $D_c$ ) de **4,60 mg/L**, num tempo de **0,14 dia**, porém esta determinação não foi o esperado, pois com o tempo estimado a distância crítica se encontraria próximo do ponto P4, porém no ponto P4, segundo os dados coletados no local, apresenta um déficit de **3,42 mg/L**. O déficit crítico entre o ponto P2-P3 deve ser encontrado próximo ao ponto P3, sendo de **4,08 mg/L**, numa distância de **1600 m**, com um **OD = 4,46 mg/L**. Do ponto P3 ao P4 o curso d'água demonstra estar se recuperando, sendo que no ponto P4, a concentração média de OD esteve de acordo com as normas da legislação. Se a partir do ponto P4 não houver lançamento significativos ou algum tributário (contaminante), o curso d'água continuará seu processo de autodepuração e se manterá nas conformidades da legislação vigente.

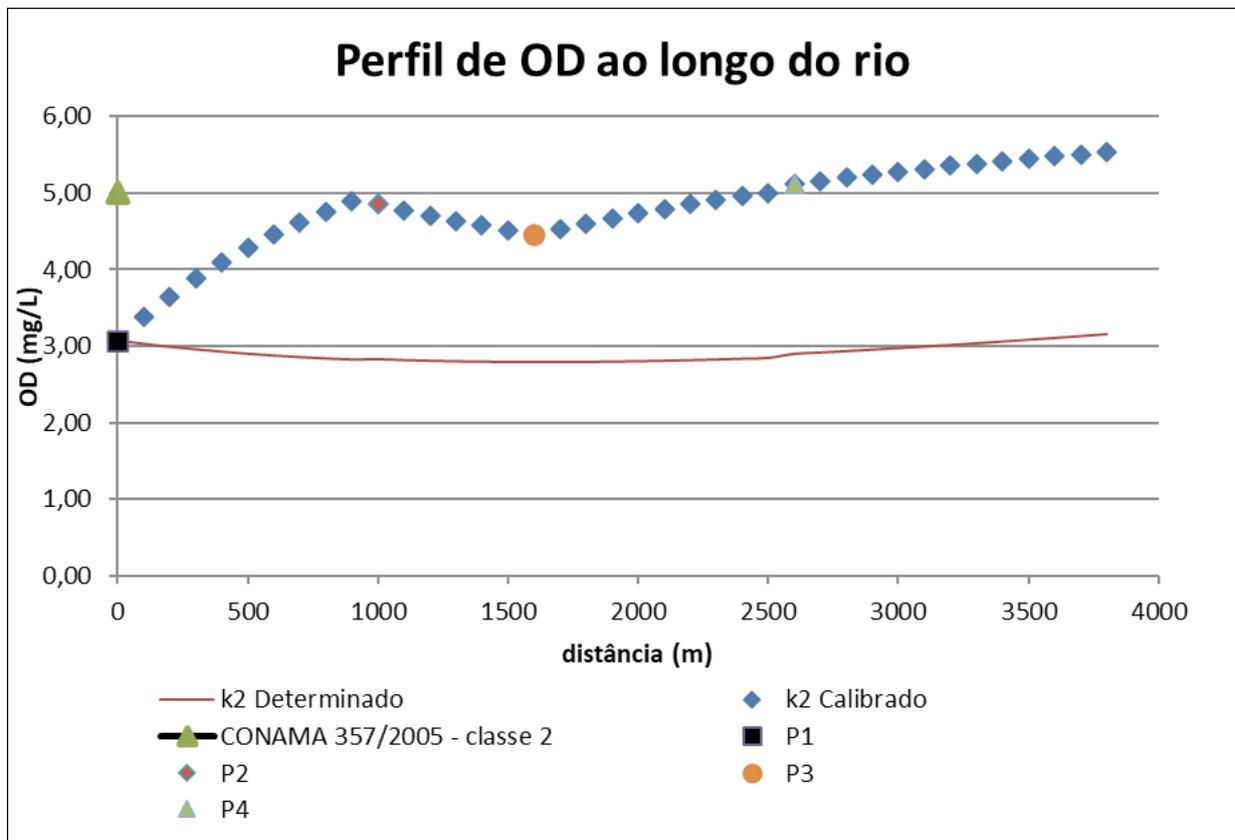
Na Figura 2 pode ser observado o comportamento do OD ao longo do trecho do rio, comparando a curva com  $k_2$  calibrado e com  $k_2$  determinado. As duas formas apresentam uma significativa diferença, isso se deve ao fato de a concentração de OD no curso d'água em estudo se elevar de forma muito rápida, devido à reaeração no Lajeado.

Praticamente em quase todo o percurso analisado, a concentração de OD se manteve abaixo do mínimo permissível pela legislação CONAMA 357/2005 de 5,0 mg/L.

Figura 2

## Perfil de OD ao longo do trecho do rio.

Fonte: Autores.



## CONCLUSÃO

O Lajeado Chiquinha atualmente não atende aos padrões estabelecidos por legislação, pelo fato de estar sendo utilizado como fonte diluidora de efluentes domésticos. Assim, se faz necessária a implantação de uma estação de tratamento de efluentes no município de Frederico Westphalen, para viabilizar a melhoria da qualidade da água do referido Lajeado.

Em todas as coletas analisadas para a determinação do coeficiente de desoxigenação ( $k_1$ ), pelo método de Thomas, os valores estimados ficaram mais próximos aos valores observados, ou seja, obteve-se um  $R^2$  mais próximo de um. Pode-se assim concluir que o método de Thomas foi o mais adequado para as condições do corpo d'água.

Por outro lado, os valores de  $k_1$  determinados pelos métodos matemáticos, através das análises em laboratório, apresentaram valores muito baixo quando comparados com o coeficiente de decomposição de DBO no rio ( $k_d$ ). Para o presente caso, o  $k_d$  representou condições mais ideais de desoxigenação do meio líquido.

Pelo fato de o Lajeado em estudo ser raso e de vazão rápida, o coeficiente de reaeração ( $k_2$ ) obtido através da literatura não se adaptou às condições encontradas no curso d'água, sendo necessário realizar adaptações manuais. Com a modelagem de Streeter e Phelps foi possível determinar que as concentrações críticas de OD encontram-se antes do ponto P1 e no ponto P3, e a diferença encontrada entre o perfil de OD ajustado e o não ajustado foi muito relevante, mostrando assim a importância de adequar os coeficientes do método as condições encontradas no corpo d'água.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12614**: Águas - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) – Método de incubação (20°C, cinco dias). 1992. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAqWYAD/nbr-12614>>. Acesso: 14 mai. 2014.
- ANDRADE, L. N. Autodepuração dos Corpos d'água. **Revista de Biologia**, v. 5, dez 2010, p. 16-19. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/revista/node/45>>. Acesso em: 04 abr. 2017.
- ARAGÃO, P. E. A. **Análise sobre métodos de estimativa de parâmetros cinéticos em ensaio de degradação de matéria orgânica**. 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22566/1/2016\\_dis\\_peaarag%20.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22566/1/2016_dis_peaarag%20.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2017.
- BRASIL. Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Portal do Planalto**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm)>. Acesso em: 24 abr. 2017.
- CARVALHO, M.; RICCIARDONE, P.; TORRES, D. M.; PEREIRA, C. S. S.; PEREIRA, O. S. Avaliação da influência do coeficiente de desoxigenação na autodepuração de um corpo hídrico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, 10., 2014, Vassouras/

RJ. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, dez. 2014, vol 1, nº 1. Disponível em: < <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliacao-da-influencia-do-coeficiente-de-desoxigenacao-na-autodepuracao-de-um-corpo-hidrico-11028>>. Acesso em: 09 set. 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 357, de 18 de março 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. **Portal do Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Portal do Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> >. Acesso em: 09 set. 2017.

GUEDES, H. A. S. **Modelagem da qualidade da água e da capacidade de Autodepuração do Rio Pomba**. 2009. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009. Disponível em <http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3683/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em : 09 set. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/>

perfil.php?codmun=430850 >. Acesso: 09 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Bases e referências**. 2001. Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

MORAIS, K. M. C. **Autodepuração do igarapé Santa Isabel no município Homônimo – Aplicação do modelo de Streeter-Phelps**. 2012. p. 97. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6269>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

PMFW – PREFEITURA MUNICIPAL DE FREDERICO WESTPHALEN. **Nosso Município**. Disponível em: < <http://www.fredericowestphalen-rs.com.br/nossomunicipio>>. Acesso: 09 jul. 2017.

PMSB – **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE FREDERICO WESTPHALEN**. Relatório do Diagnóstico, 2011. STREETER, H. W.; PHELPS, E. B. **A study of the pollution and natural purification of the Ohio river**. Vol III, Public Health Bulletin, Nº 146, U.S. Public Health Service. 1925. Disponível em: < <http://udspace.udel.edu/handle/19716/1590>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014a. 592 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014b. 472 p.

ZACHI, P. C. **Modelagem Matemática no Processo de autodepuração no Lajeado Chiquinha**. 2017, 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2017.

# Avaliação do uso de destilador solar piramidal ativo para produção de água para consumo humano em situações emergenciais

Vinícius Immich\*, Marcus Bruno Domingues Soares

\* Universidade Federal de Santa Maria/Campus Frederico Westphalen, RS,  
viniciusimmich@gmail.com

## RESUMO

No planeta há abundância de água em determinadas regiões e escassez em outras. A carência extrema de água para consumo, em algumas regiões, faz com que a população consuma água de péssima qualidade, com níveis elevados de contaminantes químicos e biológicos. O presente trabalho buscou avaliar a produção de água em um destilador piramidal ativo de 0,25 m<sup>2</sup> de cobertura de vidro, capaz de destilar água advinda de mananciais de água doce, com o auxílio de um painel fotovoltaico, a fim de utilizá-lo em situações emergenciais. Foram realizadas 23 coletas de produção, sendo 12 para o nível de água em 3,5 cm dentro da pirâmide, que foi capaz de produzir uma média de 1,58 L/m<sup>2</sup> com 32,74% de eficiência, e 11 coletas em 1,0 cm de nível de água, capaz de produzir uma média de 4,30 L/m<sup>2</sup> com 57,80% de eficiência. As variáveis meteorológicas que influenciaram na produção de um destilador solar foram a radiação solar, temperatura ambiente, velocidade dos ventos e umidade relativa. O destilador solar ativo, analisado no presente trabalho se mostrou de boa eficiência, simples entendimento, operação e manutenção.

**Palavras-chave:** Tratamento de água. Situações Emergenciais. Destilador Solar Ativo. Painel fotovoltaico.

## ABSTRACT

On the planet, there is an abundance of water in certain regions and scarcity in others. The extreme lack of water for consumption, in some regions, causes the population to consume poor quality water, with high levels of chemical and biological contaminants. The present work sought to evaluate the production of water in an active pyramidal still, capable of distilling water, coming from freshwater springs, with the help of a photovoltaic panel, in order to use it in emergency situations. Built with a glass coverage area of  $0.25 \text{ m}^2$ , based on recommendations already known to maximize your productivity. 23 production collections were carried out, 12 for the water level in 3.5 cm inside the pyramid, capable of producing an average of  $1.58 \text{ L} / \text{m}^3$  in 32.74% efficiency and 11 collections in 1.0 cm, capable of producing an average of  $4.30 \text{ L} / \text{m}^2$  at 57.80% efficiency. The meteorological variables that influenced the production of the solar still were solar radiation, ambient temperature, wind speed and relative humidity. The active solar distiller, analyzed in the present work, showed to be of good efficiency, simple understanding, operation and maintenance.

**Keywords:** *Water treatment. Emergency Situations. Active Solar Still. Photovoltaic panel.*

## INTRODUÇÃO

É fato que três quartos do planeta Terra está coberto por água, mas somente 0,5% destes adequam-se à classificação de água doce e encontram-se disponíveis para atender às necessidades humanas e dos ecossistemas. Segundo Damasceno e Araújo (2009), no planeta há abundância em determinadas regiões e escassez em outras, visto que a distribuição das águas no planeta não ocorre de maneira uniforme.

A carência extrema de água para consumo, em algumas regiões, faz com que a população consuma água de péssima qualidade, com níveis elevados de contaminantes químicos e biológicos. Segundo Corcoran et al. (2010) “mais da metade das camas de hospitais do mundo estão ocupadas com pessoas que sofrem de doenças relacionadas com a água contaminada e mais pessoas morrem como resultado de água poluída do que são mortas por todas as formas de violência, incluindo guerras”.

A destilação solar consiste no aquecimento da água pelos raios solares, evaporação, condensação do vapor d'água numa superfície fria e coleta do condensado como água-produto (SOARES, 2004). Com manutenção simples, sem custos operacionais, essa alternativa de purificação da água contaminada ou salgada, é transformado em água adequada para consumo humano. Dessa forma, é um dos equipamentos mais simples e eficientes, utilizando o aproveitamento da energia solar (STEC – PB, 1984, citado por SOARES, 2004).

O presente trabalho buscou avaliar o desempenho de um destilador piramidal ativo, com painel fotovoltaico (PV) aplicado para destilação de água doce, a fim de obter água potável. Avaliou-se a viabilidade de seus aspectos de produção, eficiência e qualidade da água,

tendo em vista que a grande demanda por alternativas unifamiliares viáveis, principalmente em áreas remotas e de difícil acessibilidade a tratamentos de água convencionais.

## METODOLOGIA

### LOCAL DE ESTUDO

O local do estudo foi a Universidade Feral de Santa Maria campus Frederico Westphalen, sendo a água bruta superficial coletada no rio Lajeado Pardo. A localização exata da realização deste estudo são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1**

**Localização dos lugares utilizados no estudo.**

Fonte: Autor.

Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Coleta de água bruta	27°23'28" S	53°25'32" O	463
Destilador solar	27°23'38" S	53°25'39" O	489
Laboratório	27°23'39" S	53°25'41" O	484
Estação meteorológica	27°23'44" S	53°25'45" O	489

### ASPECTOS CONTRUTIVOS DO DESTILADOR

O destilador solar piramidal é composto pela cobertura, módulo acoplado, tanque raso, isolamento e sistema de alimentação e coleta (Figura 1 e 2). As dimensões e composições dos materiais foram escolhidas em função de revisões bibliográficas de trabalhos realizados por outros autores, da disponibilidade, facilidade de

montagem e do custo de material.

A cobertura escolhida para compor o destilador solar foi do tipo piramidal, a qual foi confeccionada com 4 placas de triângulos isósceles de vidro comum de 4 mm de espessura, com angulação da cobertura de  $25^\circ$ , moldando uma pirâmide de  $0,25 \text{ m}^2$ . Segundo Rahim (2001), o rendimento anual da energia solar é máximo quando a inclinação da cobertura de vidro é próxima à latitude do local.

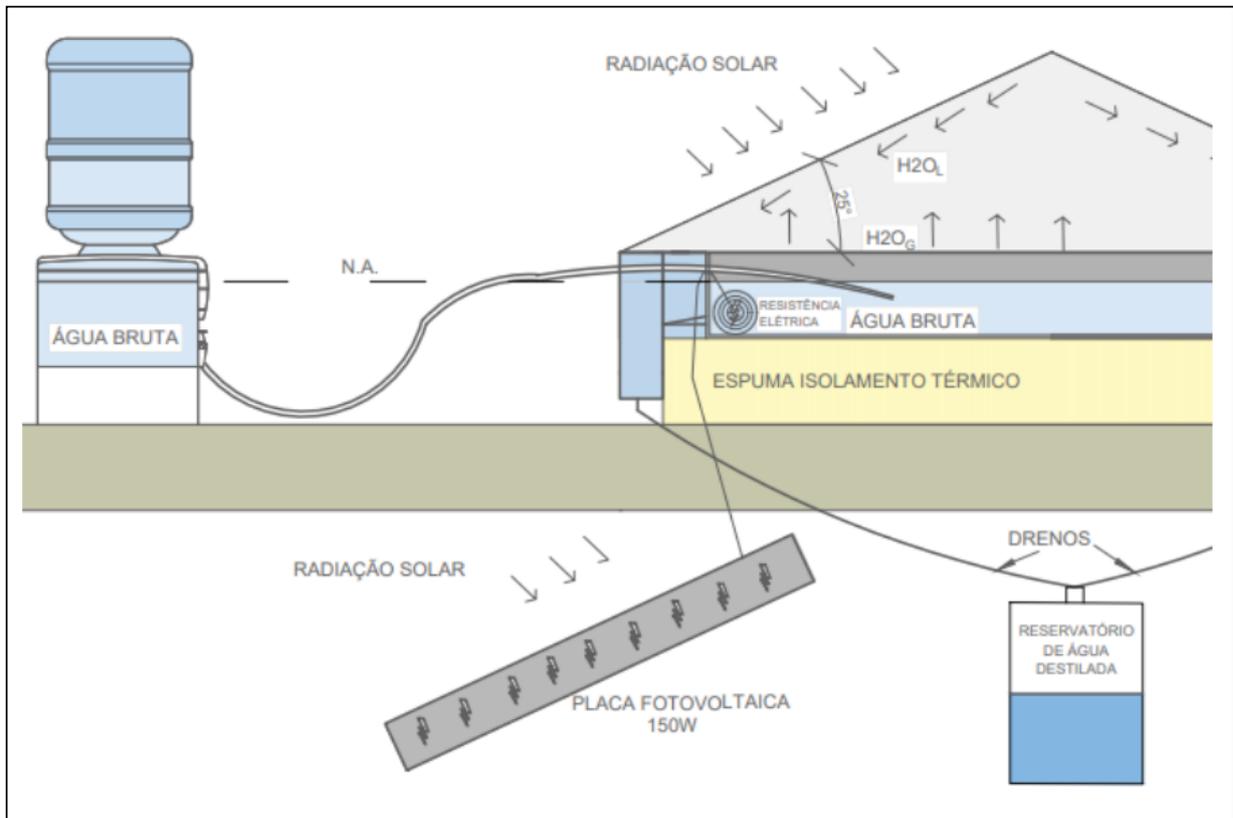
O módulo acoplado é a estrutura na qual a cobertura é acoplada e possui a função de conter o calor e direcionar, por meio das calhas, a água condensada até os reservatórios de água tratada. O material escolhido para esta estrutura foi o polímero reforçado com fibra de vidro (fibra de vidro) em função do seu custo e fácil manipulação.

O material utilizado para confecção do tanque raso foi uma placa de aço galvanizado com espessura de 2 mm que foi soldada para montar uma bandeja quadrada com aresta de 40 cm e altura de 5 cm em suas laterais. A superfície foi pintada de preto para maximizar a absorção dos raios solares. O isolamento foi montado colando duas camadas de 2 cm de poliuretano macio (espuma) em uma placa de fibra de vidro, que abrange toda a área inferior do módulo acoplado.

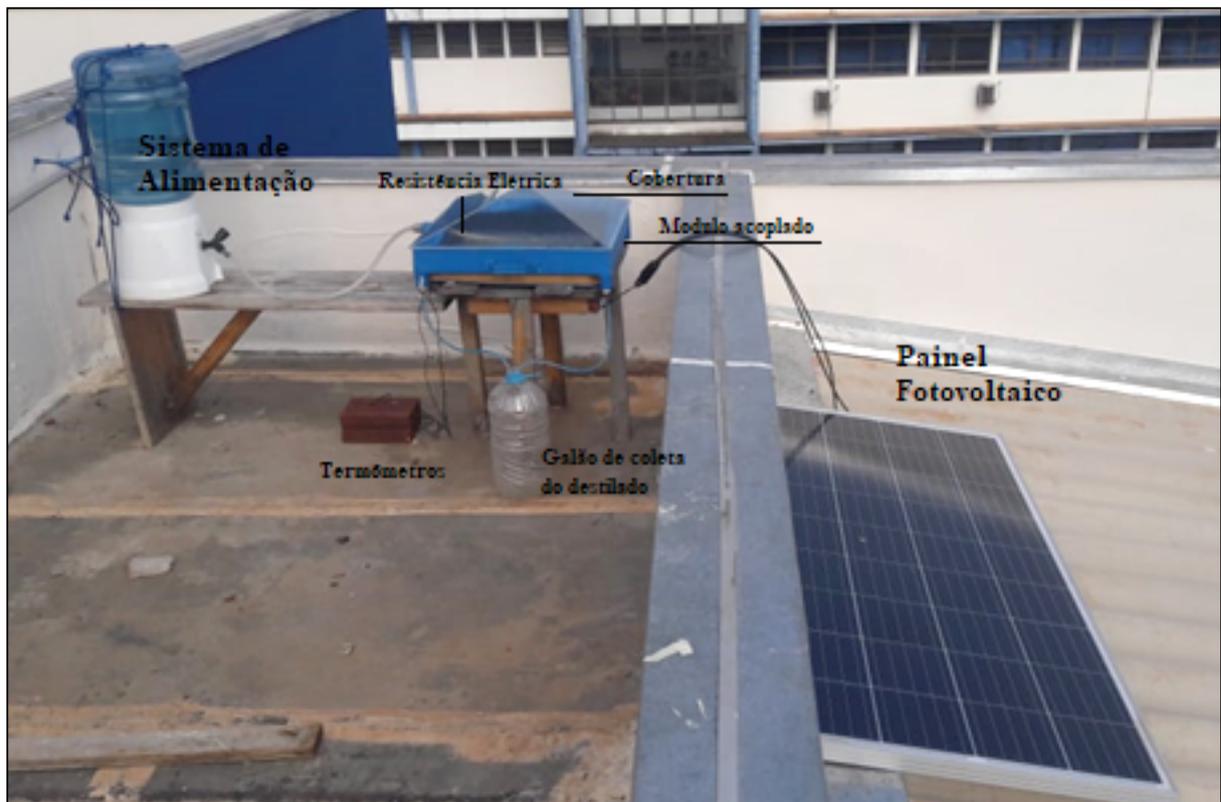
O destilador solar foi operado em diferentes níveis de água, a fim de realizar comparação entre as eficiências geradas, portanto foi utilizado duas resistências elétricas, feitas a partir de fio de Ni-Cr, para aquecimento da água no tanque. As resistências foram conectadas a um painel fotovoltaico (PV), com potência máxima de 150W e eficiência em torno de 15%, capaz de gerar 506 Wh/dia.

**Figura 1****Esquema de operação de um destilador solar piramidal ativo.**

Fonte: Autor

**Figura 2****Foto do sistema completo do destilador solar.**

Fonte: Autor



## OPERAÇÃO DO DESTILADOR PIRAMIDAL

Em relação a operação do destilador, semanalmente eram coletados aproximadamente 20 litros de água bruta, para inserir em seu sistema de alimentação e iniciar a operação do destilador piramidal ativo. A água para abastecimento do sistema era coletada com galão de 20 litros em um trecho do Rio Lajeado Pardo caracterizado por uma zona de fluxo lântico.

A água destilada era coletada diariamente, sempre que possível, nos primeiros horários da manhã, até no máximo 8 horas, tendo como base os índices de radiação e incidência no destilador, pois até este horário não há registro positivo de radiação. O volume coletado dos reservatórios de água destilada era medido em uma proveta volumétrica, indicando o quanto havia sido produzido no dia anterior.

O acompanhamento da temperatura da água, interna e do ambiente, era feito a partir de três termômetros digitais TPM-10 LCD, capazes de medir temperaturas de - 30 a 110°C.

Os dados meteorológicos foram coletados a partir dos dados registrados pela Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Frederico Westphalen, localizada a aproximadamente 244 metros do local do experimento.

A partir do volume de produção e análise das variáveis climáticas é possível obter a eficiência de produção do sistema de destilação, o que possibilita a comparação com outros destiladores de diferentes configurações e condições locais.

Para avaliar a eficiência de produção a seguinte equação foi utilizada:

$$\eta = \frac{P \times L}{H_s \times C} \quad (1)$$

$\eta$  = Eficiência de produção (%);

P = Produção de água destilada ( $\text{kg}/\text{m}^2$ );

L = Calor latente de vaporização da água ( $2252 \text{ kJ}/\text{kg}$ );

Hs = Balanço de radiação durante operação ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ );

C = Constante de conversão do calor latente para Watts (3600).

A fim de avaliar o nível de água com maior eficiência, a altura da lâmina de água no tanque raso foi modificada durante o experimento, variando-se em dois níveis diferentes. Primeiramente utilizou-se 3,5 cm, durante o período do dia 15/06/2020 até 23/07/2020. Após, foi mantido o nível em 1 cm, do dia 23/07/2020 até 29/08/2020.

No dia 22/07/2020, com o nível de água em 3,5 cm, foi acompanhada a temperatura da água dentro do destilador (tanque raso), temperatura interna do destilador e a temperatura ambiente no local, a fim de analisar o comportamento do destilador. No dia 25/08/2020 o mesmo processo foi realizado, porém com o nível de água em 1,0 cm.

## RESULTADOS

### PRODUTIVIDADE DE ÁGUA E EFICIÊNCIA DO DESTILADOR

#### Profundidade de água em 3,5 cm com PV

O Gráfico da Figura 3 apresenta a produção de água destilada e a eficiência obtida com 3,5 cm de profundidade de água no tanque raso, entre os dias 15/06/2020 e 13/07/2020.

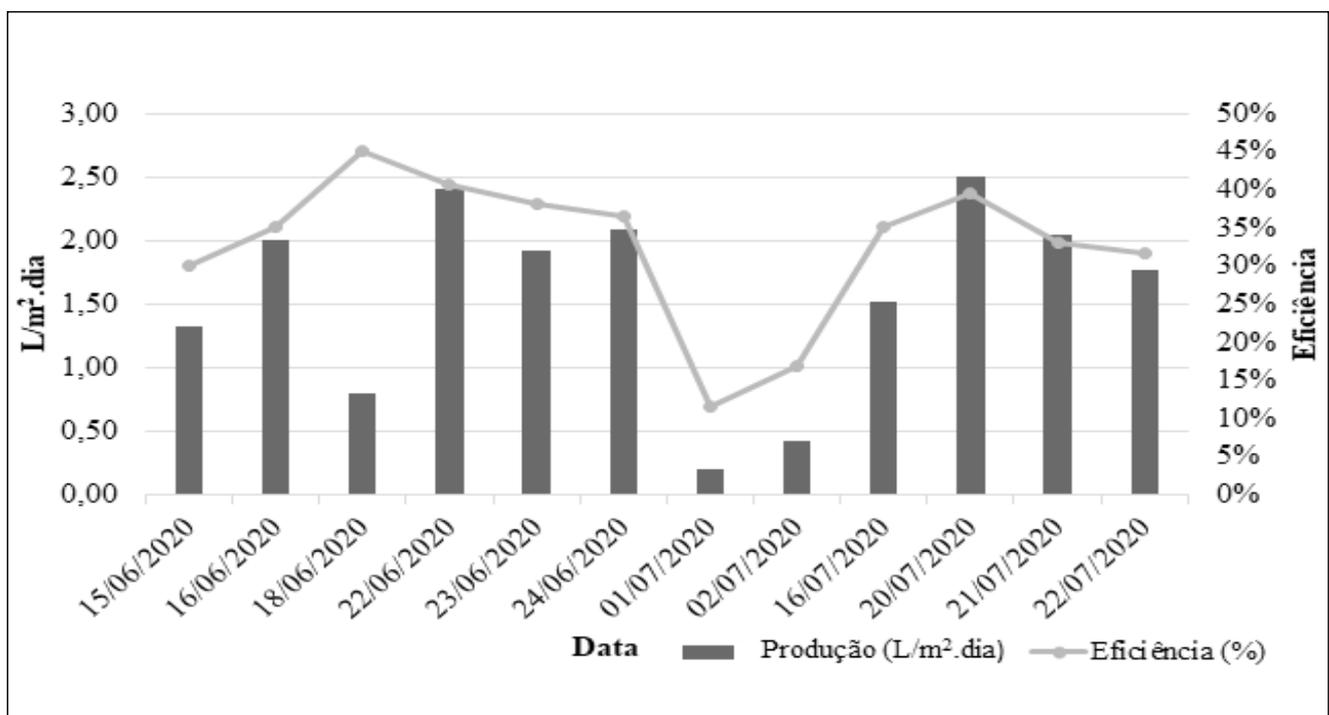
Analisando o gráfico gerado pela produção vs. eficiência, nota-se que, a maioria dos dias (8), ficaram no intervalo de 30-40% de eficiência, seguido por 2 dias em 40-50% e 2 dias em 10-20%. Assim, o destilador piramidal + painel fotovoltaico em 3,5cm de profundidade

de água, apresentou uma eficiência média de 32,75%, valor próximo ao encontrado por Singh; Kumar e Tiwari (2011) em um trabalho realizado na Índia, que foi de 35%, utilizando um destilador híbrido fotovoltaico/termal de inclinação dupla, com 5 cm de profundidade de água, em um mês de inverno. Ainda, é possível verificar que o valor é superior aos obtidos em alguns estudos, como o de Elbar e Hassan (2020) que também utilizou um destilador solar de inclinação dupla acoplado a painel fotovoltaico, o qual obteve 26,83% de eficiência, mesmo em um mês mais favorável, de maior radiação e vento.

A região de estudo apresenta queda acentuada de radiação

**Figura 3****Produção x eficiência em 3,5 cm de profundidade de água.**

Fonte: Autor



solar nos meses de junho e julho. Dentro de toda a amostragem, 69 % dos dias tiveram balanço de radiação maior ou igual que o valor médio diário esperado para o bimestre, que é de 2,1 kwh/m<sup>2</sup>.dia, segundo apresentado por Pereira et al. (2017) no atlas brasileiro de

energia solar. A produção de água para consumo foi prejudicada, pelos baixos índices de radiação no período, e também devido as características do inverno de 2020 na região sul, marcado por períodos intensos de chuvas e queda na temperatura (INMET, 2020). Na segunda metade de julho foi possível avaliar melhor a produção do destilador, quando as temperaturas se elevaram, e dias de sol e céu limpo predominaram.

Apesar do baixo índice de radiação, as outras variáveis meteorológicas estudadas na produção de água para destilação solar foram favoráveis. A temperatura ambiente baixa, a umidade relativa mais alta e ventos fortes, favoreceram a diminuição da temperatura da cobertura, e, portanto, contribuíram para condensar a uma taxa maior. Com isso, foi possível obter uma eficiência média de 32,74% e produção de 1,58 l/m<sup>2</sup>. dia.

No dia com maior produção (20/07/2020) foi registrado um balanço de radiação de 3,97 kWh/m<sup>2</sup>.dia, valor acima da média verificada nos outros dias. No entanto, como a eficiência foi somente 6,26% acima da média, devido à umidade relativa do ar ser baixa, e menor velocidade do vento (1,89 m/s), presume-se que tais fatores não contribuíram para resfriamento da cobertura.

No dia com menor produção (01/07/2020) foi registrado um balanço de radiação de 1,09 kWh/m<sup>2</sup>.dia, tempo chuvoso e nublado. Com uma produção de apenas 0,20 L/m<sup>2</sup>, esse acontecimento demonstra a vulnerabilidade da tecnologia para produção de água em dias com condições climáticas desfavoráveis. A Tabela 2 apresenta um resumo da produtividade com profundidade de água de 3,5 cm no destilador.

**Tabela 2****Resumo da produtividade em 3,5 cm de profundidade de água**

Fonte: Autor

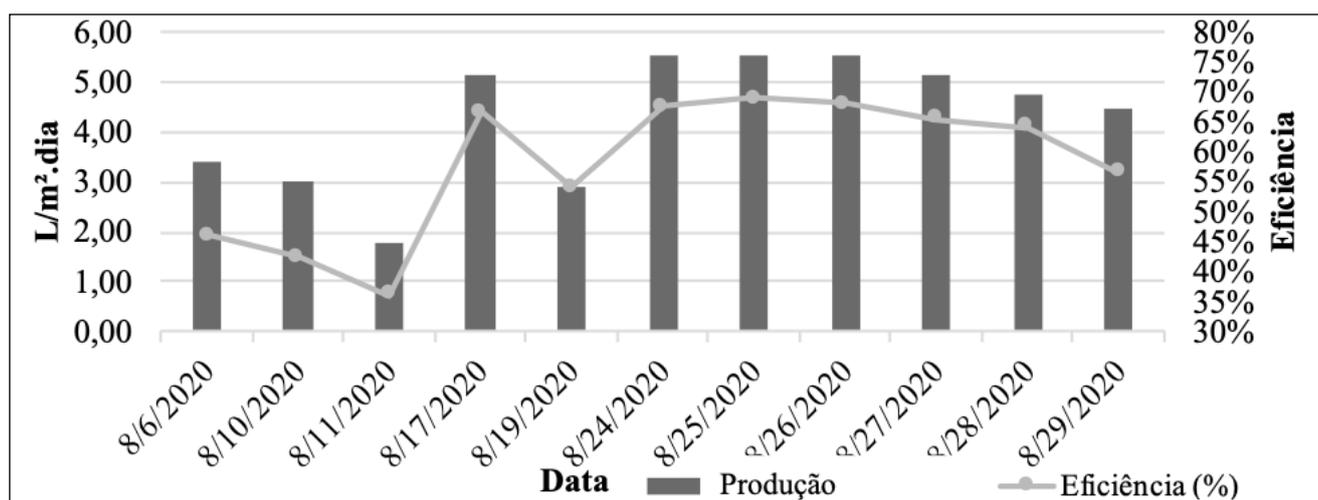
	Dias	Produção L/m <sup>2</sup> .dia	Radiação (kwh/m <sup>2</sup> .dia)	Eficiência	Condições climáticas
Média geral de produção	15/06/2020- 23/07/2020	1,58	2,88	32,74%	X
Produção máxima	20/07/2020	2,50	3,97	39%	Ensolarado
Produção mínima	01/07/2020	0,20	1,09	11%	Precipitação pluviométrica e nebulosidade
Produção usual (radiação > 2,1 kwh/m <sup>2</sup> .dia)	9 dias	1,95	3,42	35,49%	X

**Profundidade de água em 1 cm com PV**

O Gráfico da Figura 4 apresenta a produção de água destilada e a eficiência obtida com 1,0 cm de profundidade de água no tanque raso, entre os dias 06/08/2020 e 29/08/2020.

**Figura 4****Produção x eficiência em 1,0 cm de profundidade de água**

Fonte: Autor



Analisando o gráfico gerado nota-se que a maioria dos dias (8) ficaram no intervalo de 30-40% de eficiência, seguido por 2 dias em 40-50%, e 2 dias em 10-20%. Assim a produção vs. eficiência o destilador piramidal + painel fotovoltaico em 1 cm de profundidade de água, apresentou uma eficiência média de 57,80%, valor próximo aos 62,5% encontrados por Praveen Kumar et al. (2018), em seu experimento na Índia, nos meses de verão com condições mais favoráveis, que também utilizou um fio de Ni-Cr ligado a um PV para aquecimento da água contida no destilador, com 5 cm de profundidade de água. O valor médio também ficou próximo aos valores encontrados por um sistema de dessalinização movido a energia solar, elaborado por Morad, El-Maghawry e Wasfy (2017), nos meses de verão, que obteve eficiências entre 50 e 62%. Pounraj et al. (2018) obteve uma eficiência geral de 63,1% e também conduzindo seu experimento em dias de verão.

A região de estudo apresentou uma elevação de radiação solar no mês de agosto, quando comparada a junho e julho. Dentro de toda a amostragem, 100% dos dias obtiveram balanço de radiação maior que o valor médio diário esperado para o mês, que é de 2,8 kWh/m<sup>2</sup>.dia, segundo apresentado por Pereira et al. (2017), no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Devido ao aumento da radiação e predominância de dias ensolarados, principalmente na segunda quinzena do mês, a produção de água para consumo foi otimizada.

Apesar do rebaixamento do nível de água para 1 cm e os ventos fortes no período terem contribuído para o aumento da eficiência, algumas variáveis meteorológicas estudadas na produção de água para destilação solar foram desfavoráveis e poderiam ter contribuído para uma ainda melhor eficiência. A umidade relativa do ar baixou na segunda quinzena de agosto, e a temperatura aumentou, condições que

desfavoreceram a diminuição da temperatura da cobertura, e, portanto, dificultaram a condensação à uma taxa maior. Mesmo com alguns fatores desfavoráveis foi possível obter uma eficiência média de 57,80% e produção de 4,30 L/m<sup>2</sup>. dia.

No dia com maior produção (25/08/2020) foi registrado um balanço de radiação de 5,04 kWh/m<sup>2</sup>.dia, valor acima da média verificada nos outros dias. O tempo limpo, ensolarado e com ventos médios de 2,64 m/s contribuíram para uma eficiência de 69% e produção de 5,56 L/m<sup>2</sup>.

No dia com menor produção (11/08/2020) foi registrado um balanço de radiação de 3,13 kWh/m<sup>2</sup>.dia (tempo nublado). Com uma produção de apenas 1,80 L/m<sup>2</sup>, esse acontecimento demonstra, novamente, a vulnerabilidade da tecnologia para produção de água em dias com condições desfavoráveis, mesmo com o rebaixamento do nível de água. A Tabela 3 apresenta o resumo da produtividade obtida em 1,0 cm de profundidade de água no tanque raso.

**Tabela 3** Resumo da produtividade em 1,0 cm de profundidade de água

Fonte: Autor

	Data	Produção L/m <sup>2</sup> .dia	Radiação (kwh/ m <sup>2</sup> .dia)	Eficiência	Condições climáticas
Média geral de produção	06/08/2020- 29/08/2020	4,30	4,56	57,80%	X
Produção máxima	25/08/2020	5,56	5,04	69%	Ensolarado
Produção mínima	11/08/2020	1,80	3,13	36%	Nublado
Produção usual (radiação > 2,8 kwh/m <sup>2</sup> .dia)	11 dias	4,30	4,56	57,80%	X

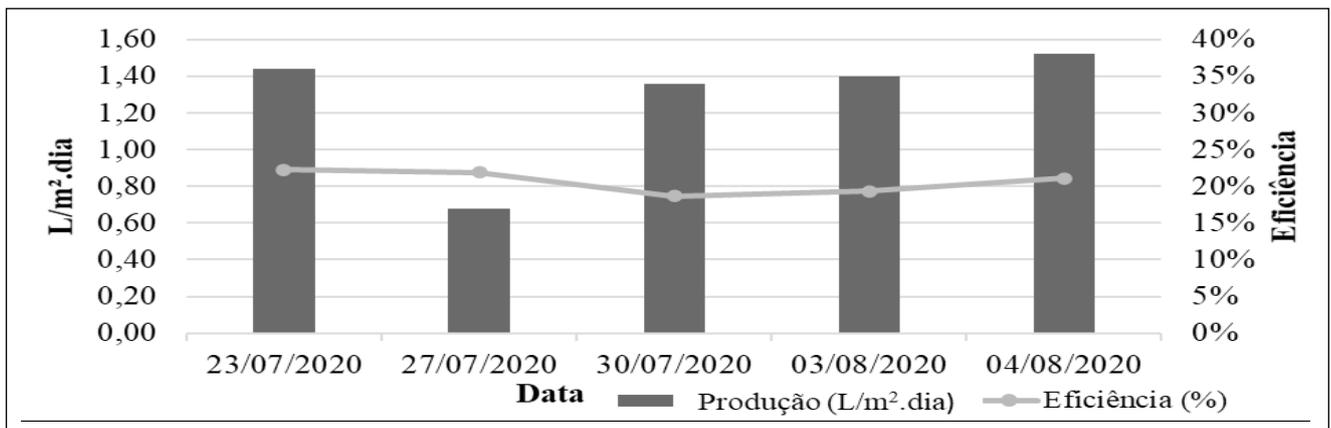
## Profundidade em 1 cm, sem PV.

O Gráfico da Figura 5 apresenta a produção de água destilada e a eficiência obtida com 1,0 cm de profundidade de água no tanque raso, sem o auxílio do painel fotovoltaico, entre os dias 23/07/2020 e 04/08/2020.

**Figura 5**

### Produção x eficiência em 1,0 cm de profundidade de água sem auxílio do PV

Fonte: Autor



Devido ao tempo para execução deste trabalho, foram analisados somente 5 dias, para que seja possível verificar a influência do sistema de aquecimento no destilador solar.

Nota-se que todos os dias ficaram no intervalo de 19-22% de eficiência, em dias ensolarados e condições climáticas semelhantes aos dias com PV e profundidade em 1cm. Analisando o gráfico gerado pela produção vs. eficiência, o destilador piramidal sem o auxílio do painel fotovoltaico, em 1 cm de profundidade de água, apresentou uma eficiência média de 20,68%. Eficiência essa, próxima aos 23% obtidos com 2 cm de profundidade de água, no estudo elaborado por Saravanan e Murugan (2020), em meses de verão na Índia.

Devido ao aumento da radiação no mês de agosto, em compara-

ção aos meses anteriores dentro de toda a amostragem, apenas um dia, que estava nublado, não obteve o balanço de radiação maior que o valor médio diário esperado para a média dos meses de julho e agosto, que é de 2,45 kWh/m<sup>2</sup>.dia, segundo apresentado por Pereira *et al.* (2017), no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Devido à predominância de dias ensolarados, a produção de água para consumo foi otimizada. A Tabela 4 apresenta o resumo da produtividade obtida em 1,0 cm de profundidade de água no tanque raso sem auxílio do PV.

**Tabela 4** Resumo da produtividade em 1,0 cm de profundidade de água sem auxílio do PV

Fonte: Autor

	Data	Produção L/M <sup>2</sup> .Dia	Radiação (Kwh/M <sup>2</sup> .Dia)	Eficiência	Condições Climáticas
Média Geral De Produção	23/07/2020- 04/08/2020	1,28	3,91	20,68%	X
Produção Máxima	04/08/2020	1,52	4,50	21%	Ensolarado
Produção Mínima	27/07/2020	0,68	1,94	22%	Nublado
Produção Usual (Radiação > 2,45 Kwh/M <sup>2</sup> .Dia)	4 dias	1,43	4,41	20,36%	X

### Comparativo da eficiência e produtividade de água nos diferentes níveis e configurações

É compreensível que as variáveis climáticas como o vento e radiação foram maiores no período de rebaixamento do nível de água na pirâmide, o que contribuiu para uma diferença de produção de água destilada em 2,72 L/m<sup>2</sup>. Porém, analisando a eficiência, que leva em conta a produção pelos níveis de radiação, e que estão presentes nas

Tabelas 2 e 3, verifica-se que a eficiência média se elevou de 32,74% para 57,80%, representando um aumento de 76,54% com a diminuição para 1 cm de profundidade de água no tanque raso, em relação aos 3,5 cm. Praveen Kumar et al. (2018) obtiveram eficiências geral em um destilador ativo de 62,5%, 48,7% e 46,6%, com 5 cm, 10 cm e 15 cm, respectivamente. Isso comprova que o aumento do nível de água, diminui a eficiência do destilador.

Entretanto, quando o destilador é operado sem o auxílio do PV para o aquecimento da água contida no tanque raso e com a profundidade de água em 1 cm, a eficiência média, observada na Tabelas 4, cai 64,22%. Al-Qadami et al. (2020), em um experimento com destilador solar ativo, operado com 2 cm de água durante o verão, conseguiu alcançar um acréscimo de 55% de eficiência em relação a um destilador solar passivo. Posto isso, parece evidente a otimização do destilador solar operado com auxílio de PV.

## DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA COM AUXÍLIO DO PV

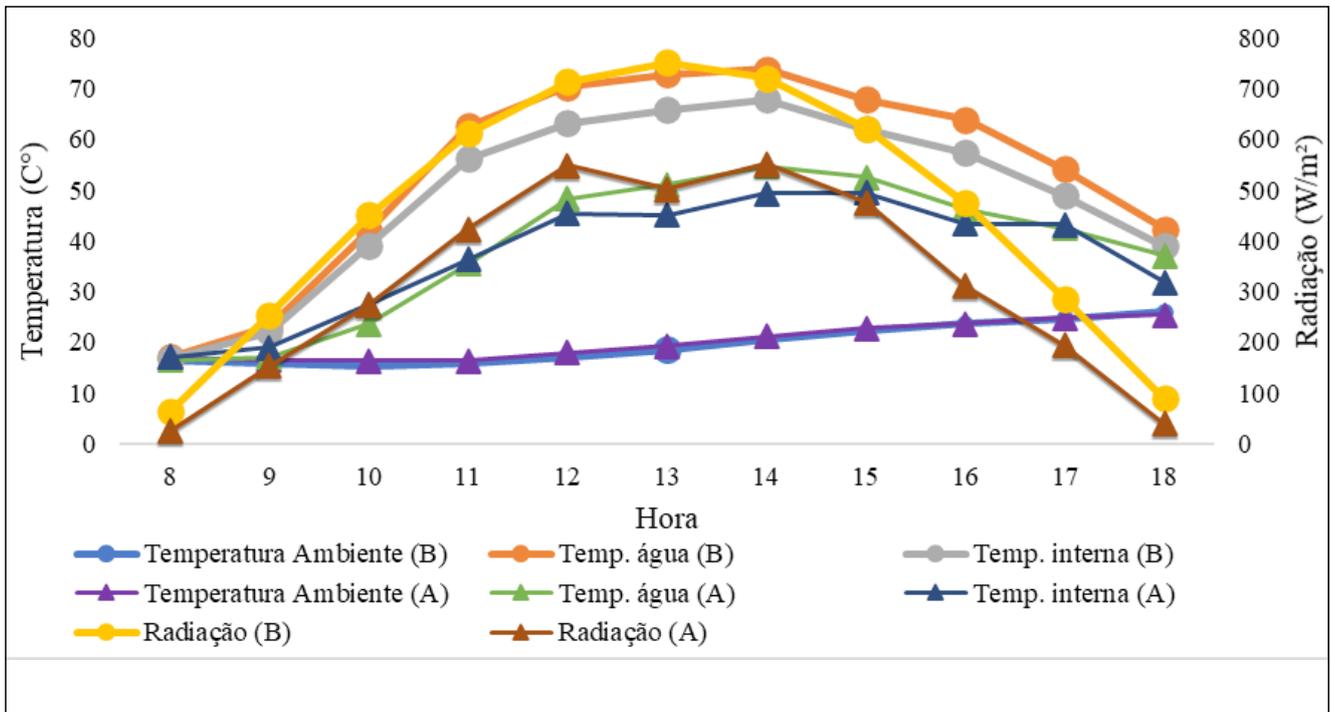
Os dados do comparativo do período de luz solar dos dias 22/07/2020 (A) e 25/08/2020 (B) estão dispostos na Figura 6.

Observando a Figura 6 é possível perceber que a temperatura da água no dia A (22/07/2020), começa a ser superior à temperatura interna após as 11:00 horas, quando a radiação começa a ser significativamente maior que o início da manhã. Dhindsa e Mittal (2018) apresenta em seu estudo que a temperatura interna de destiladores solares convencionais é maior que a temperatura da água ao longo do dia. O contrário acontece em destiladores solares ativos, devido ao auxílio do painel fotovoltaico na geração de energia para o aquecimento da água.

Figura 6

**Gráfico comparativo de variação gradual da temperatura da água, ambiente, interna e radiação solar dos dias 22/07/2020 (A) e 25/08/2020 (B)**

Fonte: Autor



Já analisando o dia B (25/08/2020) na Figura 6 é possível perceber que a temperatura da água começa a ser superior já na primeira hora de observação (08:00), período em que a radiação ainda é pouco significativa. Novamente, nota-se o efeito de aquecimento por meio da energia gerada pelo painel fotovoltaico em destiladores solares ativos, devido à temperatura da água sempre estar maior que a temperatura interna.

Realizando um comparativo entre os dois dias, percebe-se que quanto menor a profundidade, mais rapidamente a água aquece no tanque raso, como defendido por Rahim (2001).

Com a profundidade de água em 1,0 cm, a temperatura da água já é superior à interna do destilador na primeira hora, diferentemente da profundidade em 3,5 cm, que leva uma demora para o aquecimento inicial da água, devido ao maior volume de água contido no

tanque raso. No dia A, a temperatura máxima ambiente a temperatura máxima da água foram de 25,4 °C e 54,8 °C, respectivamente. Boukar e Harmim (2001) observaram uma temperatura máxima de 69,18 °C na água contida no tanque raso, em um destilador solar de bacia única acoplado a um coletor solar, com mesma profundidade de água, em um dia semelhante ao dia 22/07/2020. Já Al-Qadami et al. (2020) obteve temperaturas no destilador próximas às encontradas neste trabalho, porém em um dia com temperaturas mais elevadas.

## INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE ÁGUA DESTILADA

Nos itens a seguir está demonstrado indicativos de como as variáveis climáticas, tais como umidade relativa do ar e a velocidade do vento, podem intensificar a taxa de transferência de calor. Estas variáveis diminuem a temperatura do material de cobertura, ocasionando em uma maior produção de destilado.

### Vento

A Tabela 5 apresenta um resumo da possível influência da variável climática vento na produção de água destilada.

**Tabela 5**

**Tabela comparativa da variável climática vento na produção de água destilada**

Fonte: Autor

Data	Temp. (°C)	Umidade rel. (%)	Vento (m/s)	Radiação acumulada (kW/m <sup>2</sup> )	Produção (L/m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)
15/06/2020	18,60	75,09	1,06	2,75	1,32	30
16/07/2020	18,08	69,00	2,32	2,71	1,52	35

Analisando a Tabela 5 é possível perceber que os dias 15/06/2020 e 16/07/2020 obtiveram níveis de temperatura, umidade relativa e radiação acumulada próximas, mas velocidade de ventos muito diferentes, o que pode ser indicativo que esse fator interferiu no resfriamento da cobertura da pirâmide, aumentando a produção de destilado, em 0,2 L/m<sup>2</sup>, e eficiência em 5%.

## Umidade Relativa e Temperatura do ar

Na Tabela 6 apresenta um resumo da possível influência das variáveis climáticas umidade relativa e temperatura na produção de água destilada.

**Tabela 6**

**Tabela comparativa variáveis climáticas umidade relativa e temperatura do ar na produção de água destilada**

Fonte: Autor.

Data	Temp. (°C)	Umidade rel. (%)	Vento (m/s)	Radiação acumulada (kW/m <sup>2</sup> )	Produção (L/m <sup>2</sup> )	Eficiência (%)
17/08/2020	18,58	72,00	1,85	4,85	5,16	67
29/08/2020	27,58	39,67	3,11	4,96	4,48	57

Durante o período avaliado nenhum dia obteve níveis de radiação, vento, temperatura, ou umidade iguais, de modo que se pudesse analisar a influência, separadamente, das variáveis umidade relativa e temperatura. Porém, analisando a Tabela 6 é possível perceber que os dias 17/08/2020 e 29/08/2020 obtiveram níveis de vento e radiação acumulada mais ou menos próximos, mas umidade relativa e temperatura muito diferentes. Portanto, o dia mais frio e com umidade superior, obteve uma superioridade em 0,68 L/m<sup>2</sup> e

eficiência em 10%, o que pode indicar que esses fatores interferiram no resfriamento da cobertura da pirâmide.

Também é possível verificar, que apesar do dia 29/08/2020 ter apontado maior velocidade do vento, que a temperatura elevada e a umidade baixa não foram capazes de auxiliar no resfriamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou avaliar a produtividade e influência das variáveis climáticas em um destilador piramidal ativo, aplicado no tratamento de água para consumo humano a partir de água doce. Grande parte dos trabalhos já publicados usando esta tecnologia para tratamento de água para consumo humano, envolve a utilização de água salinas e bombeamento para sistemas de aquecimento. Com base neste trabalho e comparando com outros estudos já realizados, é possível concluir:

O destilador apresenta um bom potencial de produção de água para consumo, suprimindo a necessidade de famílias pequenas. Porém, sua produção é afetada em épocas de baixa incidência de radiação solar, como observado nos meses de junho e julho, com média de 2,88 kWh/m<sup>2</sup>.dia produzindo 1,58 L/m<sup>2</sup>. A produção de água também cai drasticamente em dias nublados ou chuvosos, portanto recomenda-se a construção de um destilador solar de maiores dimensões.

O destilador ligado a um painel fotovoltaico apresenta um acréscimo na eficiência de 37,12%.

A utilização do nível de água em 1 cm no tanque raso aumentou a eficiência e produção de água no destilador. Também colaborou para um aumento rápido da temperatura logo nas primeiras horas

de incidência de radiação solar.

Foram apresentados indicativos de como a produção de água é suscetível a variáveis climáticas. Porém, se faz necessário maior número de análises para verificar com uma base sólida de dados a porcentagem que cada uma dessas variáveis influencia no processo de destilação.

Comparando com outros destiladores ativos, o presente trabalho se mostrou de boa eficiência, e principalmente de simples entendimento, operação e manutenção. Porém, algumas alterações nas configurações poderiam minimizar as perdas de calor, otimizando o sistema.

Recomenda-se verificar periodicamente o material isolante do destilador. O presente trabalho utilizou poliuretano macio (espuma), que quando exposto ao clima externo se decompõe mais facilmente, perdendo sua eficácia.

## REFERÊNCIAS

- AL-QADAMI, E. H. H. et al. Productivity enhancement of a double slope solar still coupled with a solar system. **Journal of Ecological Engineering**, v. 21, n. 4, p. 255–263, 2020.
- BOUKAR, M.; HARMIM, A. Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still.: A comparative study. **Desalination**, v. 137, n. 1–3, p. 15–22, 2001.
- CORCORAN, E. et al. Sick Water? The central role of wastewater management in sustainable development. **Mine Water and the Environment**, p. 88, 2010.
- DAMASCENO, L. B.; ARAÚJO, G. M. Avaliação de um destilador solar simplificado de baixo custo visando o consumo humano. n. 1, p. 1–8, 2009.
- DHINDSA, G. S.; MITTAL, M. K. Experimental study of basin type vertical multiple effect diffusion solar still integrated with mini solar pond to generate nocturnal distillate. **Energy Conversion and Management**, v. 165, n. March, p. 669–680, 2018.
- ELBAR, A. R. A.; HASSAN, H. An experimental work on the performance of new integration of photovoltaic panel with solar still in semi-arid climate conditions. **Renewable En-**

**ergy**, v. 146, p. 1429–1443, 2020.

INMET. **Boletim Agroclimatológico Mensal - Junho**. Brasília: [s.n.].

MORAD, M. M.; EL-MAGHAWRY, H. A. M.; WASFY, K. I. A developed solar-powered desalination system for enhancing fresh water productivity. **Solar Energy**, v. 146, p. 20–29, 2017.

PEREIRA, E. B. et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. p. 88, 2017.

POUNRAJ, P. et al. Experimental investigation on Peltier based hybrid PV/T active solar still for enhancing the overall performance. **Energy Conversion and Management**, v. 168, n. December 2017, p. 371–381, 2018.

PRAVEEN KUMAR, B. et al. Experimental investigation on hybrid PV/T active solar still with effective heating and cover cooling method. **Desalination**, v. 435, n. August, p. 140–151, 2018.

RAHIM, N. H. A. Utilisation of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still. **Desalination**, v. 138, n. 1–3, p. 121–128, 2001.

SARAVANAN, A.; MURUGAN, M. Performance evaluation of square pyramid solar still with various vertical wick materials – An experimental approach. **Thermal Science and Engineering Progress**, v. 19, n. March, p. 100581, 2020.

SINGH, G.; KUMAR, S.; TIWARI, G. N. Design, fabrication and performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) double slope active solar still. **Desalination**, v. 277, n. 1–3, p. 399–406, 2011.

SOARES, C. **Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

# Filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de esgoto sanitário: uma revisão sistemática de literatura

Thais Prestes Stein, Vanessa Faco Tarone, Marieli Barbosa dos Santos, Victoria Moreira dos Santos, Keli Luiza Bonissoni, Raphael Corrêa Medeiros (\*).

\*Universidade Federal de Santa Maria Campus de Frederico Westphalen, e-mail medeiroscg@yahoo.com.br

## RESUMO

Esta revisão bibliográfica objetivou realçar a importância do filtro anaeróbio no tratamento descentralizado de esgoto sanitário, através do estudo sobre o meio suporte, eficiências, e principais usos dessa tecnologia dentro das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Foram pesquisados trabalhos em três bases de dados – Periódicos CAPES, SciELO e Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), sendo encontrados 27 documentos que se encaixaram no escopo da pesquisa. Observou-se a utilização de filtros anaeróbios como: pré-tratamento, principalmente, de reatores aeróbios, como Biofiltros Aerados Submersos (BAS), filtros de areia; pós-tratamento de tanques sépticos, wetlands construídos, escoamento superficial no solo; havendo ainda casos em que são alocados em reatores híbridos. Com relação ao meio suporte, inúmeros materiais foram utilizados: casca de coco, bambu, tubos corrugados, pedra brita, anéis plásticos; tampas de PET, buscando-se a reutilização de resíduos, e conseqüente diminuição de custos. Verificou-se que as eficiências são bastante variáveis em termos de DBO, DQO, SST; no entanto, este reator biológico se mostra robusto à variação de cargas orgânica e hidráulica. Sendo assim, é um reator biológico que poderia ser mais explorado e disseminado no país, no intuito de melhorar o saneamento de pequenas populações.

**Palavras-chave:** Tratamento anaeróbio, material suporte, filtro biológico, saneamento básico.

## ABSTRACT

This review aimed to highlight the importance of the anaerobic filter in decentralized domestic wastewater treatment, through the study of support medium, efficiencies, as well as the main uses of this technology within wastewater treatment plants (WWTP). Papers were screened from three databases - CAPES journals, SciELO, and The Digital Library of Theses and Dissertations, and 27 documents that fit the scope of the research were found. Anaerobic filters were observed in applications such as: pretreatment of, mainly, aerobic reactors such as submerged aerated biofilters (SAB), sand filters; post-treatment of septic tanks, constructed wetlands, surface runoff; and even situations in which they are allocated in hybrid reactors. As for support medium, many materials have been applied: coconut shell, bamboo, corrugated tubes, crushed stone, plastic rings; PET lids, seeking to reuse waste, and consequent cost reduction. It was found that efficiencies are quite variable in terms of BOD, COD, TSS; however, this biological reactor shows to be robust to variations in organic and hydraulic loads. In this sense, it could be more explored and disseminated within the country, aiming at improving sanitation in small populations.

**Key Words:** *Anaerobic treatment, support medium, biological filter, basic sanitation.*

## INTRODUÇÃO

Saneamento Básico é o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar níveis de Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural. (FUNASA, 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) estimam que existam cerca de 2,5 bilhões de pessoas no mundo sem acesso a instalações de saneamento básico; e um bilhão de pessoas desprovidas de qualquer tipo de instalação sanitária (cujos dejetos são lançados diretamente no ambiente) (WHO; UNICEF, 2017).

No Brasil, existe a Lei Federal 11.445/2007 que estabelece as diretrizes nacionais de saneamento básico e também o novo marco do Saneamento com a Lei 14.026/2020 bastante discutido em âmbito nacional devido a várias questões contraditórias no ponto de vista sanitário, porém ambas deveriam funcionar para a correta gestão sanitária, diminuindo assim problemas relacionados ao saneamento básico e às desigualdades relacionadas ao mesmo.

Dados do SNIS (2019), pouco mais de 49% do esgoto gerado no país é coletado e tratado, com grande diferença entre as macrorregiões, de 22% na região Norte até 56,8%, na região Centro-Oeste. O Estado deve implementar as ações visando solucionar o déficit no setor de saneamento básico, por meio de formulação de políticas públicas coordenadas. Entretanto, o Governo não deve ser o único ator na formulação dessas políticas, já que a sociedade, por meio dos mais diversos

setores, deve participar. (PITASSI; FERREIRA, 2020).

Deve-se atentar que os cursos d' água são os principais receptores de esgotos tratados e não tratados, acarretando inúmeros impactos ambientais, como: a diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido, no meio líquido, devido à degradação biológica da matéria orgânica, eutrofização decorrente do aporte de nitrogênio e fósforo em concentrações elevadas, contaminação por organismos patogênicos, entre outros (VON SPERLING, 2014). Além dos impactos sociais e econômicos, muitos deles relacionados à Saúde Pública (HELLER; CASTRO, 2013).

Dentro deste contexto, o tratamento de esgotos domésticos pode ser realizado por diferentes configurações de reatores biológicos, aeróbios ou anaeróbios, em sistemas centralizados ou descentralizados, de fluxo contínuo, intermitente ou em bateladas sequencias (Von Sperling, 2014). Qual seja a escolha, ela deve ser pautada por critérios, como: aplicabilidade do processo; faixa e variação de vazões aplicáveis; características do efluente doméstico; clima; produção e gerenciamento de subprodutos (lodo, gases, resíduos sólidos e líquidos gerados); requerimentos de energia, área, produtos químicos; custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas de tratamento; confiabilidade e complexidades dos processos; requerimento de pessoal, etc (Metcalf; Eddy, 2016).

Vale ressaltar ainda a importância do tratamento de esgoto na gestão da água, dentro do conceito de economia circular, a partir do reuso efluentes tratados, como fonte alternativa de água para usos menos restritivos, bem como de nutrientes para diversas atividades domésticas, agrícolas e industriais (Puyol et al., 2017).

Entre os diversos sistemas de tratamento de esgoto, os processos anaeróbios tiveram grande expansão no Brasil, desde as lagoas

anaeróbias, muitas vezes utilizadas em conjunto com lagoas facultativas (sistema australiano de lagoas de estabilização), reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC), Filtros Anaeróbios, entre outros.

Em se tratando desses últimos, são reatores biológicos preenchidos com material inerte com elevado grau de vazios, que permanece estacionário. Esse material de enchimento serve como suporte para os microrganismos, os quais formam películas ou um biofilme na sua superfície, propiciando alta retenção de biomassa no reator, podendo ser operado com fluxo ascendente e descendente (METCALF; EDDY, 2016; JORDÃO; PESSOA, 2014).

Os filtros anaeróbios são empregados, principalmente, como pós-tratamento de tanque séptico, em conjunto com reatores UASB (reator híbrido) e pré-tratamento de wetlands contruídos em sistemas descentralizados. São utilizados para tratamento de diferentes tipos de águas residuárias: suinocultura, abatedouro de aves, lixiviado de aterro sanitários e em consórcio com esgoto sanitário, vinhaça, processamento industrial de caju, de café, águas cinzas, além do esgoto doméstico.

Entre as principais características para dimensionamento e boa operação desses filtros estão: carga orgânica aplicada, meio suporte (massa específica, área superficial específica e coeficiente de vazios) (JORDÃO; PESSOA, 2017). Esses filtros possuem vantagens, como: podem ser utilizados para esgotos concentrados ou diluídos; resistem bem às variações de vazão afluente; perdem pouco dos sólidos biológicos. Além disso, permitem várias opções de forma, sentido de fluxo, materiais de enchimento, bem como possuem construção e operação simples (VON SPERLING, 2014; METCALF; EDDY, 2016).

Esse estudo de revisão de literatura objetivou verificar a eficiência de filtros anaeróbios no tratamento de efluentes, os diferentes mate-

riais utilizados como meio de suporte, a partir de dados de estudos e experimentos já realizados.

## METODOLOGIA

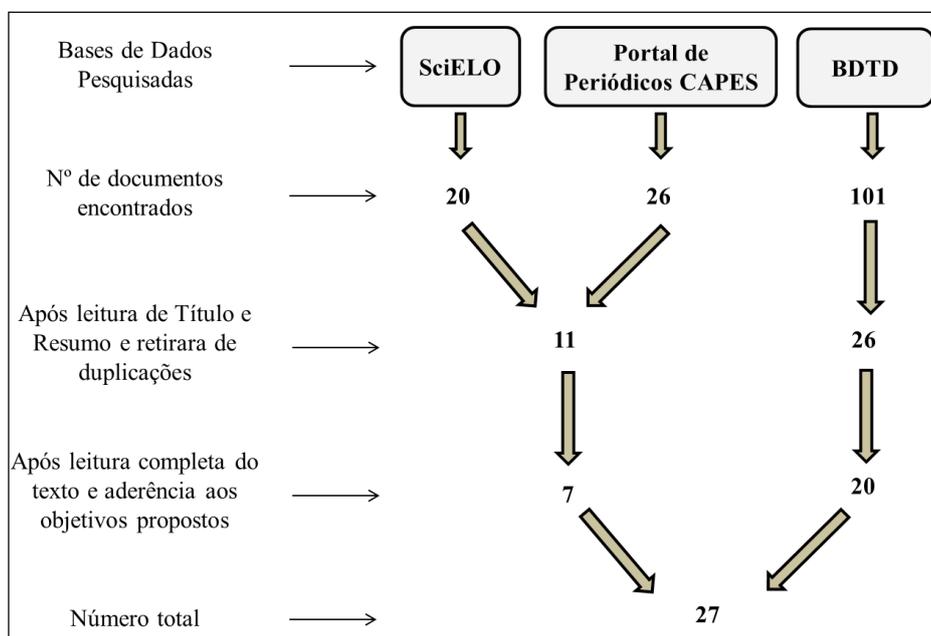
Para esta revisão de literatura, foram consultadas as seguintes bases de dados: Portal de Periódicos CAPES, o qual apresenta mais de 45 mil títulos em texto completo de produções científicas nacionais e internacionais; SciELO, que possui em sua coleção 383 periódicos e mais de 430 mil documentos dos mais diversos campos do conhecimento e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD), cuja base de dados é composta por mais de 680 mil documentos de 124 Instituições Brasileiras.

A pesquisa teve o foco em documentos datados a partir do ano de 2010, escritos em língua portuguesa, e das palavras-chave: “filtro anaeróbio”; “esgoto”; “filtração anaeróbia”; “efluente doméstico”. O fluxo de busca, exclusão e número de artigos finais para a revisão, está apresentado na figura 1.

**Figura 1**

**Fluxo de busca, exclusão e número total de documentos revisados.**

Fonte: Autores.



Do número inicial de documentos pesquisados, após as etapas de aderência aos objetivos, esta revisão foi realizada tendo por base 27 documentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta algumas características principais dos documentos relacionados ao tema proposto de filtros anaeróbios para o tratamento de esgoto doméstico, selecionados para esta revisão bibliográfica. Pode-se notar que os filtros anaeróbios podem ser utilizados em mais diversas funções: como tratamento principal; como pré ou pós-tratamento em uma configuração de reatores biológicos.

Na função de pré-tratamento, o efluente tratado pode ser direcionado para filtros de areia, biofiltros aerados submersos (BAS) e escoamento superficial no solo. Vale salientar que, dificilmente, o efluente do filtro anaeróbio irá atingir os parâmetros de qualidade para lançamento em corpos hídricos (CONAMA, 2011), em relação à carga orgânica, nutrientes e organismos patogênicos; sendo, portanto, necessários, os diversos pós-tratamentos destes sistemas. Os BAS, nos trabalhos pesquisados, foram utilizados como intuito de nitrificar o efluente do filtro anaeróbio, e, com conseqüente recirculação ao mesmo filtro ou para seguimento ao outro filtro anaeróbio, no intuito de desnitrificação.

Quando servindo de pós-tratamento, a precedência por tanque séptico é o modelo mais comumente aplicado no tratamento descentralizado, a fim de haver uma melhor degradação da matéria orgânica após parte já ter sido degradada e sedimentada no tanque séptico. E nos trabalhos, nos quais o filtro anaeróbio foi o tratamento principal, ele foi testado com diferentes meios suportes, tempos de detenção hidráulica, taxas de aplicação orgânica, etc; com a proposta de otimizar a tecnologia.

**Tabela 1****Principais características dos Filtros Anaeróbios advindos da revisão bibliográfica.**

Fonte: Autores.

Autores	Características dos Filtros Anaeróbios			
	Uso do Filtro anaeróbio	Volume (Litros)	TDH (horas)	Observações adicionais
Cruz et al. (2010)	Tratamento principal	500	9	
Foco (2010)	Pré-tratamento de BAS	30	9 a 15	
Senna (2010)	Pré-tratamento de filtros de areia	500	9	
Fernandes (2012)	Pós-tratamento de TS	201	21,1; 18,8 e 10,3	3 Filtros com meio suporte diferentes; águas negras
Tonetti et al. (2012a)	Pré-tratamento de ES	500	3	
Tonetti et al. (2012b)	Pré-tratamento de filtros de areia	500	9	
Lopes (2013)	Pré-tratamento de BAS	32,6	2,1 a 10	
Achaval (2014)	Tratamento principal	1410		
Foco (2014)	Pré-tratamento de BAS	298,7	12	
Gomes (2014)	Pós-tratamento de TS seguido de Tanque de microalgas	2000		
Leonel (2014)	Pré-tratamento de filtros de areia	500		
Silva (2014)	Tratamento principal	500	16	
Gomes (2015)	Pós-tratamento de TS	4330		
Santos (2015)	Pós-tratamento de TS	201	22	Águas negras

Souza et al. (2015)	Pós-tratamento de TS seguido de Tanque de microalgas	2500	30	
Hoyos (2016)	Câmara sobreposta a um reator UASB	19600	2,7	Reator Híbrido
Rosário (2016)	Pré-tratamento de BAS	31	12	Esgoto sintético
Bueno (2017)	Pré-tratamento de filtros de areia	460,2	4 a 24	
Celestino (2017)	Câmara sobreposta a um reator UASB	156	8	Reator Híbrido
Gatti (2017)	Pré-tratamento de BAS	20	5 a 9	Esgoto sintético
Linhares (2017)	Pré-tratamento de filtros de areia e carvão ativado	942	2,2	
Baettker et al. (2018)	Tratamento principal	1,3	4 e 8	Esgoto sintético
Figueiredo (2019)	Tratamento principal	940	24	
Mesquita (2019)	Pós-tratamento de TS	7440 e 20000	12	3 ETEs em escala plena
Pitoro (2019)	Tratamento principal	200	56 a 57	Fluxo descendente (meio suporte submerso)
Souza et al. (2019)	Tratamento principal	4,4	2,2 a 16,9	
Santos et al. (2020)	Câmara sobreposta a um reator UASB	156	8	Reator Híbrido

Nota: BAS: Biofiltro aerado submerso; ES: Escoamento superficial no solo; TS: Tanque séptico; UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

O volume dos reatores – 1,3 a 20 mil litros - faz menção à escala do estudo: reatores menores testados em escala laboratorial, alguns em escala intermediária (escala-piloto) até ETE de escala plena. Importante também registrar o uso do filtro anaeróbio em reatores híbridos, acoplados aos reatores UASB, visando à melhoria na remoção de sólidos

suspensos, retenção de biomassa e conseqüente, maior eficiência do tratamento.

Quanto ao tempo de detenção hidráulica, a NBR 13969 (ABNT, 1997) preconiza, no mínimo, 12 horas, quando utilizado como pós-tratamento de tanques sépticos. Nos trabalhos estudados, os TDHs variaram de 2,2 a 57 horas, sendo que algumas conseqüências foram relatadas pelos autores: aumento da velocidade ascensional, taxa de aplicação orgânica e hidráulica e, conseqüente, perda de eficiência de remoção de SST, de SSV (baixa retenção de biomassa), DBO, DQO.

Apesar de os filtros anaeróbios poderem trabalhar com fluxo ascendente ou descendente, somente um trabalho (PITORO, 2019) utilizou o fluxo descendente, com o meio suporte submerso. Em relação ao efluente, dois trabalhos analisaram a eficiência ao receber águas negras (proveniente apenas do vaso sanitário de residências), mais concentradas em material orgânico, nutrientes e patógenos. Outros três trabalhos utilizaram esgoto sintético, voltados a alguma otimização do processo, com diminuição da interferência de diferentes composições diárias do esgoto doméstico habitual.

Os filtros anaeróbios possuem três componentes principais: fundo falso por onde há a chegada da tubulação de entrada para distribuição do afluente, no fundo da unidade; o meio suporte, no qual os microrganismos formarão o biofilme, sendo retida a biomassa ativa; e, por último, a tubulação de coleta de efluente tratado, na parte superior do filtro. No caso de fluxo descendente, o afluente é distribuído na parte superior do filtro que mantém o meio suporte submerso, em anaerobiose, sendo, posteriormente, coletado na tubulação de saída.

A tabela 2 relata os principais materiais utilizados pelos autores dos trabalhos revisados. Foram escolhidas, para melhor detalhamento deste material, três características fundamentais que se

relacionam à avaliação de eficiências dos filtros: índice de vazios, área superficial e peso específico.

A primeira característica traz a ideia de quanto do volume do filtro é preenchido pelo meio suporte (sólido). A segunda característica define a quantidade de área por metro cúbico de material, tendo-se por consequência, o quanto de área estará disponível para a aderência dos microrganismos e formação de biofilme. E, por último, o peso específico se faz importante para custo estrutural do filtro, transporte e facilidade de manuseio o material, altura possível do filtro, etc (ROSÁRIO, 2016).

Houve uma diversidade de materiais utilizados como meio suporte. Alguns são orgânicos: casca de coco (*Cocos nucifera*), bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), bambu (*Bambusa tuldoides*); outros são resíduos, como tampas de garrafa PET, cápsulas de café, borracha de pneu, cerâmica de argila.

**Tabela 2**

### Características gerais do meio suporte utilizado nos filtros anaeróbios a partir da revisão bibliográfica.

Fonte: Autores.

Autores	Tipo de material	Índice de vazios (%)	Área superficial (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Cruz et al. (2010)	Casca de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ) (cortadas em 4 partes)			
Foco (2010)	Tubo corrugado de PVC (2,5 x 1,5 cm)	93,2		
Senna (2010)	Anéis de bambu ( <i>Bambusa tuldoides</i> ) (4 x 5 cm)*			
Fernandes (2012)	Bucha vegetal ( <i>Luffa cylindrica</i> ); tubo corrugado de PVC (2 x 3 cm)*; brita nº4	87,5; 77,8; 42,5		
Tonetti et al. (2012a)	Anéis de bambu ( <i>Bambusa tuldoides</i> ) (3 x 5 cm)*	74,7	91,8	

Tonetti et al. (2012b)	Anéis de bambu ( <i>Bambusa tuldoides</i> ) (3 x 5 cm)*	74,7	91,8	
Lopes (2013)	Tubo corrugado de PVC (2,5 x 1,5 cm)*	93,2		
Achaval (2014)	Tubo corrugado de PVC (3 x 3 cm)*	95	200	55
Foco (2014)	Anéis tipo "pall ring" (3,8 cm de diâmetro x 3,8 cm de altura)	89	128	
Gomes (2014)	Brita nº4			
Leonel (2014)	Anéis de bambu ( <i>Bambusa tuldoides</i> ) (4 x 5 cm)*	74,7		
Silva (2014)	Casca de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ) (cortadas em 4 partes)			
Gomes (2015)	Casca de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ) (cortadas em 4 partes)			
Santos (2015)	Tubo corrugado de PVC			
Souza et al. (2015)	Cápsulas de café	92 a 96	96,01 a 183,06	0,5 a 0,69
Hoyos (2016)	Tampas de garrafas PET			
Rosário (2016)	Espuma de poliuretano	92	43,8	23
Bueno (2017)	Casca de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ) (cortadas em 4 partes)	62,5		
Celestino (2017)	Tubo corrugado de PVC (2,5 cm diâmetro)	90	91	
Gatti (2017)	Tubo corrugado de PVC (1 x 2,5 cm)*	92,3	120	
Linhares (2017)	Pedregulho (2 a 60 mm)			
Baettker et al. (2018)	Carvão ativado granular; cerâmica de argila; borracha de pneu.	86; 78; não mencionado		0,63; 0,96; 0,38
Figueiredo (2019)	Casca de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ) (cortados em 4 partes)			

Mesquita (2019)	Tubo corrugado de PVC; brita.	
Pitoro (2019)	Brita nº 1 e brita nº 4	48 a 52
Souza et al. (2019)	Brita	
Santos et al. (2020)	Tubo corrugado de PVC (2,5 x 2,5 cm)*	

Nota: \*(diâmetro x comprimento); tubo corrugado de PVC, aparas de eletrodutos e anéis de conduíte foram uniformizados em: “tubo corrugado de PVC”.

Há ainda trabalhos em que os tubos corrugados de PVC e anéis “pall ring” foram utilizados, com diâmetros e tamanhos diferentes; a clássica pedra brita, com tamanhos diferenciados nº 1 e nº 4 e pedregulhos. A NBR 13969 (ABNT, 1997) relata que o meio suporte deve suportar a agressividade do esgoto, e, no caso, de utilizar brita, que seja de número 4 ou 5.

A tabela 3 traz os resultados de eficiência dos filtros anaeróbios estudados dentro da revisão bibliográfica, para três variáveis principais. Outras variáveis foram analisadas, como temperatura, pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis (AGVs), turbidez, coliformes totais, *E. coli*, série nitrogenada e fósforo total. Elas não foram acrescentadas, na tabela, pois a frequência de estudos foi bastante baixa.

Com relação à temperatura, os trabalhos mostraram o uso do filtro anaeróbio na faixa mais apropriada para processos anaeróbios, de 16,3 a 30°C; portanto, acima de 15 °C (ABNT, 1997; VON SPERLING, 2014). O pH também esteve apropriado, próximo à neutralidade. Alguns trabalhos relatam o uso de alcalinizante, porém, como forma preventiva e, nos casos, não necessária.

A avaliação da alcalinidade e AGVs foram realizadas por alguns pesquisadores a fim de garantir que as etapas de acidogênese, aceto-

gênese e metanogênese se processassem perto do ideal, bem como verificar o final da etapa de aclimatação microbiana – start-up – nos reatores (BAETTKER et al., 2018) . Esta etapa, com duração de até 48 dias, de acordo com alguns estudos, é de extrema importância; inclusive houve a utilização de inóculo – lodo - de outros reatores anaeróbios a fim de que o reator se estabilize o mais breve possível (ACHAVAL, 2014; FOCO, 2010, 2014; GATTI, 2017).

A remoção de turbidez, como relatada pelos autores pesquisados, esteve muito influenciada pela remoção de SST, com remoções acima de 80% sendo relatadas por Leonel (2014), Mesquita (2019) e Pitoro (2019). Outras variáveis, como TDH e velocidade ascensional também foram relacionadas ao desempenho dos reatores quanto à turbidez.

Os filtros anaeróbios não são reatores cujo foco seja a remoção de microrganismos indicadores e organismos patogênicos, com ocorrência entre 0 e 1 log (90%) (LEONEL, 2014). No entanto, no trabalho de Pitoro (2019), com 6 filtros de fluxo descendente, e mais de 2 dias de TDH, foram relatados até 5 log de remoção.

A remoção de nitrogênio total Kjeldahl foi bastante variável, de 0 a 17,4%. Com isso, o uso de reatores aeróbios no pós-tratamento, como o BAS, e diferentes taxas de recirculação (até 600%) foram aplicadas. Como resultado, houve a ocorrência de nitrificação e remoção de até 72%. Para o fósforo total, remoções de até 20% foram alcançadas com recirculação de efluente de BAS (GATTI, 2017).

Um dos grandes potenciais apresentados por diversos autores foi a possibilidade de os filtros anaeróbios reterem biomassa, aumentando o tempo de residência celular e melhoria da qualidade do efluente tratado (HOYOS, 2016; GOMES, 2015; SANTOS et al., 2020; SILVA, 2014; SOUZA et al., 2019). Isso também se fez presente nos estudos com rea-

tores híbridos (HOYOS, 2016; CELESTINO, 2017; SANTOS et al., 2020).

Os resultados trazidos na tabela 3 evidenciam a grande variabilidade de eficiência quanto à DQO, DBO e SST, sendo de difícil comparação entre material suporte, TDH, etc. Há relatos de quanto maior a DQO e DBO do efluente bruto, maior a eficiência; coerente com a cinética de crescimento microbiano (VON SPERLING, 2014).

**Tabela 3** Eficiências (%) dos filtros anaeróbios, a partir da revisão bibliográfica, sobre algumas variáveis.

Fonte: Autores.

Autores	Eficiências (%)				
	DQO		DBO		SST
Cruz et al. (2010)	70		81		
Foco (2010)	14,8 a 78,8		0 a 88,8		46,5 a 83,5
Senna (2010)	49		47		38,8
Fernandes (2012)*	F1: 44,4; F2: 34,4; F3: 40		F1: 21,3; F2: 32,3; F3: 47,5		
Tonetti et al. (2012a)	58		50		56
Tonetti et al. (2012b)			68		39
Lopes (2013)	C/R: 32 a 65	S/R: 69,6	C/R: 81 a 94	S/R: 79,4	
Achaval (2014)	Fase 1 - 13,9; Fase 2 - 54,2		14,1 e 62,8		15,9 e 46,6
Foco (2014)	46				
Gomes (2014)	38,6				
Leonel (2014)	75,4				85,5
Silva (2014)	72				
Gomes (2015)	51		71		61
Santos (2015)	12,1 a 50,7		23,4 a 47,6		

Souza et al. (2015)	38,6		
Hoyos (2016)	59,9	46,5	63
Rosário (2016)	74	86	73
Bueno (2017)	73	73	89,5
Celestino (2017)	Fase 1: 25,2; Fase 2: 33,5 e Fase 3: 46,1		
Gatti (2017)	Fase 1: 82 a 86; Fase 2: 66 - 86		
Linhares (2017)	Fase 1 e Fase 2: 14		Fase 1: 37%; Fase 2: 17%
Baettker et al. (2018)**	Fase 1 – F1: 84; F2: 91; F3: 88 Fase 2 – F1: 79; F2: 60; F3: 63		
Figueiredo (2019)	72,6	39,6	78,5
Mesquita (2019)	ETE1: 54; ETE 2: 49; ETE 3: 90	ETE1 - 62; ETE 2 - 56; ETE 3 - 67	ETE1 - 0; ETE 2 - 49; ETE 3 - 82
Pitoto (2019)***	Fase 2: 96,7	Fase 1- #1: 25% e #4: 25%; Fase 2: 62,9	Fase 1 - #1: 98% e #4: 98%
Souza et al. (2019)	Fase 1: 81%; Fase 2: 85%		94 e 93
Santos et al. (2020)	Fase 1: 28%; Fase 2: 25%		

Nota: Fase: muitos trabalhos trabalharam com fases diferentes (por modificação do TDH, da taxa de aplicação orgânica, etc.); C/R e S/R: com e sem recirculação do efluente no filtro anaeróbio; \*F1- meio suporte de bucha vegetal; F2 – meio suporte de tubo corrugado de PVC; F3 – brita#4; \*\*F1- meio suporte de carvão ativado granula; F2: meio suporte de cerâmica de argila; F3: meio suporte de borracha de pneu; \*\*\*#1 – brita nº1; #4 – brita nº4.

Nos trabalhos que se propuseram a comparar o meio suporte, Fernandes (2012) encontrou pouca diferença entre eles, apesar de TDH e índice de vazios bastante discrepantes entre os materiais (bucha vegetal, tubo corrugado de PVC e brita nº4). Baettker et al. (2018) relacionaram ao maior número de poros e área específica do carvão

ativado granular, com o melhor desempenho em relação à cerâmica de argila e borracha de pneu. Já em Pitoro (2019), não houve diferença entre a brita nº1 e nº4.

É de se esperar, segundo a NBR 13969 (ABNT, 1997), de 40 a 75% de remoção de DBO ao sistema composto de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, próximo aos valores relatados pelos seis trabalhos (FERNANDES, 2012; GOMES, 2014, 2015; SANTOS, 2015, SOUZA et al., 2015; MESQUITA, 2019), se adequando também aos limites da legislação vigente. Da mesma forma, quando o filtro foi utilizado como pré-tratamento para filtro de areia. Alguns autores, inclusive indicaram a possibilidade de reuso do efluente tratado na agricultura (GOMES, 2015; TONETTI et al., 2012b; PITORO, 2019).

A utilização com BAS e em reatores híbridos também apresentam muitas vantagens. No primeiro caso, com possibilidade de nitrificação/desnitrificação e remoção de fósforo (FOCO, 2010; SENNA, 2010; SILVA, 2014), e no segundo, melhoria de eficiência dos reatores UASB (SANTOS et al., 2020).

Vale salientar que os filtros anaeróbios são largamente utilizados no Brasil, principalmente, em conjunto com tanques sépticos, em sistemas descentralizados, para atendimento de populações de até 5 mil habitantes (MESQUITA, 2019; VIANA et al., 2019).

## CONCLUSÃO

Os trabalhos mostram, a partir disso, as inúmeras possibilidades de materiais que podem ser utilizados, em substituição à pedra brita, no intuito de reutilização de resíduos (economia circular). Foram avaliados alguns materiais de menor custo de implantação, construção, uso de material local abundante, considerados não convencionais e/

ou resíduos, com destaque para anéis plásticos, fragmentos de pneu, anéis de bambu e casca de coco.

Segundo a revisão bibliográfica pode-se constatar que todo tipo de material para preenchimento do filtro anaeróbio usado para o tratamento de esgoto doméstico desde o mais simples aos mais complexos possuem uma eficiência significativa na remoção e adequação do efluente gerado.

Destaca-se que os filtros possuem maior eficiência quando associados a outras unidades, como pré ou pós-tratamento, bem como em reatores híbridos. Pode-se assim, verificar e analisar a versatilidade do filtro anaeróbio no tratamento de esgoto doméstico, vindo a ter papel fundamental em sistemas descentralizados.

Apesar de ser uma tecnologia simples, em que o custo com material suporte pode ser baixo, como evidenciado nesta revisão de literatura, a falta de manutenção e operação periódicas e subdimensionamento das unidades comprometem a eficiência do tratamento, acarretando risco ao ambiente e à saúde da população.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar de disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ACHAVAL, L. S. 2014. **Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos em unidades residenciais unifamiliares**. 173p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2014.

BAETTKER, E. C.; CARVALHO, K. Q.; FREIRE, F. B.; PASSIG, F. H.; MORAIS, J. L. 2018. Materiais alternativos como meio suporte de filtros anaeróbios para tratamento de esgoto sanitário sintético. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 1091-1102.

BUENO, D. A. C. 2017. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: desempenho em operação crítica**. 466 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unicamp. Campinas, SP. 2017.

CELESTINO, E. J. 2017. **Uso de reatores anaer-**

**óbios e aeróbios híbridos em série para a remoção de matéria orgânica e nitrogênio.**

60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2017.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Portal do Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, DF, 13 mai. 2011. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646> >. Acesso em: 09 mar. 2021.

CRUZ, L. M. O.; TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; TONO, D.; STEFANUTTI, R. 2010. Remoção de matéria orgânica de efluente doméstico por reator anaeróbio preenchido com coco verde. **Revista DAE**, <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.061>

FERNADES, W. V. 2012. **Uso da *Luffa cylindrica* como meio suporte para crescimento bacteriano em filtro anaeróbio tratando esgotos domésticos.** 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, 2012.

FIGUEIREDO, I. C. S. 2019. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas.** 318p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2019.

FOCO, M. L. R. 2010. **Filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso: produção de biomassa, conversão de matéria orgânica e de nitrogênio.** 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2010.

FOCO, M. L. R. 2014. **Recirculação de efluente**

**visando a desnitrificação em sistemas combinados anaeróbio-aeróbio para tratamento de esgoto sanitário.** 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2014.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento.** Brasil. Ministério da Saúde. Brasília: 2015.

GATTI, R. A. F. 2017. **Influência da variação do TDH e da taxa de recirculação no comportamento de reatores sequenciais anaeróbio e aeróbio de leito fixo e filtro percolador na remoção de nitrogênio e fósforo.** 116p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). UTFPR, Curitiba, PR, 2017.

GOMES, M. P. M. 2014. **Instalação e monitoramento de estação piloto de tratamento de esgoto sanitário visando reuso agrícola.** 59 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2014.

GOMES, B. G. L. A. 2015. **Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia.** 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Unicamp, Campinas, SP, 2015.

HELLER, L.; CASTRO, J. E. **Política pública e gestão de serviços de saneamento.** Ed. Ampl. Belo Horizonte: Ed. UFMG; Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz, 2013. 567 p.

HOYLOS, N. L. M. 2016. **Análise comparativa do desempenho de reator anaeróbio híbrido e reator de manto de lodo de fluxo ascendente (UASB) aplicados ao tratamento de esgoto sanitário.** 141 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2016.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de**

- Esgotos Domésticos.** 8<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro, 2017, 916 p.
- LEONEL, L. P. 2014. **Eficiência de um sistema simplificado de tratamento de efluentes na remoção de cistos de *Giardia spp.* e ovos de helmintos.** 98 p. (Mestrado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2014.
- LINHARES, B. D. 2017. **Filtros granulares (areia e carvão ativado) para pós-tratamento de efluente anaeróbio.** 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2017.
- LOPES, G. P. R. 2013. **Avaliação de um sistema combinado filtro anaeróbio/biofiltro aerado submerso com ênfase na recirculação do efluente e na caracterização do lodo.** 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2013.
- MESQUITA, T. C. R. 2019. **Tratamento descentralizado de esgotos sanitários em sistemas constituídos por tanques sépticos e filtros anaeróbios.** 209 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.
- METCALF, EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos;** tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.
- PITASSI, S. L. B. ; FERREIRA, A. P. A atuação do Poder Judiciário na concreção das políticas públicas de saneamento básico: possibilidades e limites. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe4, p. 111–125, 2019.
- PITORO, V. S. J. 2019. **Tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto em filtros anaeróbios verticais para reuso na irrigação por gotejamento de couve-manteiga (*Brassica oleracea L. var. acephala*).** 155 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), UNESP, Botucatu, SP, 2019.
- PUYOL, D.; BATSTONE, D. J.; HULSEN, T.; AS-TALS, S.; PECES, M.; KROMER, J. O. 2017. Resource recovery from wastewater by biological Technologies: opportunities, challenges and prospects. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, article 2106. doi: 10.3389/fmicb.2016.02106.
- ROSÁRIO, T. M. S. 2016. **Aplicação do sistema combinado por filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso ao tratamento de esgotos sanitários de unidades residenciais unifamiliares.** 112p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.
- SANTOS, M. V. A.; MORAIS, J. C.; VERAS, S. T. S.; LEITE, W. R. M.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. 2020. Reatores híbridos anaeróbio e aeróbio para remoção de matéria orgânica e nitrogênio em esgoto doméstico diluído. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020284>.
- SANTOS, R. A. 2015. **Efeito da taxa de aplicação superficial na remoção de matéria orgânica em filtros de areia.** 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. 2015.
- SENNA, P. R. C. B. 2010. **Tratamento de efluente sanitário utilizando filtro anaeróbio como reator de desnitrificação para reuso agrícola.** 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2010.
- SILVA, J. C. P. 2014. **Desnitrificação em filtro anaeróbio.** 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Unicamp, Campinas, SP, 2014.
- SNIS. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: Il.

SOUZA, C. F.; BASTOS, R. G.; GOMES, M. P. M.; PULSCHEN, A. A. 2015. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso agrícola. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n.3, p. 587-597.

SOUZA, G. R.; OLIVEIRA, L. F. C.; BELLO, I. P.; SINISCALCHI, L. A. B.; FIA, R. GANDIA, R. M. 2019. Use of coffee capsules as support material in upflow anerobic fixed bed reactors. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, e19180504, 2019, <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4324-2019180504>.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo.

2012a. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 7-12.

TONETTI, A. L.; FILHO, B. C.; NICOLAU, C. E.; BARBOSA, M.; TONO, D. 2012b. Tratamento de esgoto e produção de água de reuso com o emprego de filtros de areia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n.3, p. 287-294.

VIANNA, T. C.; MESQUITA, T. C. R.; ROSA, A. P. 2019. Panorama do emprego de tanques sépticos e filtros anaeróbios no tratamento descentralizado de efluentes no Sudeste brasileiro. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p. 157-172.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014. 472 p.

WHO; UNICEF - World Health Organization and United Nations Children's Fund. **Progress on drinking water, sanitation and hygiene**. Geneva. 2017.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Fundo de Incentivo à Pesquisa da UFSM (FIPE - Sênior/2020), pela concessão de bolsa de iniciação científica.

# Qualidade ambiental de poços de água de propriedades rurais em Taquaraçu do Sul-RS

Silvana Isabel Schneider\*, Tamiris Rosso Storck, Mateus Junior Rodrigues Sangiovo, Arci Dirceu Wastowski, Jaqueline Ineu Golombieski.

\* Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen, silvanaeas@outlook.com

## RESUMO

A água possui extrema importância para a vida dos seres vivos, além disso, exerce papel crucial nos setores sociais e econômicos. O presente trabalho avalia a qualidade ambiental de poços de água localizados na área interiorana do município de Taquaraçu do Sul através de análise macroscópica e avaliação microbiológica.

**Palavras-chave:** *Qualidade da Água, Análise Macroscópica, Variáveis biológicas*

## ABSTRACT

Water is extremely important for life and living beings, moreover, it plays a crucial role in social and economic sectors. The present work evaluates the environmental quality of water wells and in the interior area of the municipality of Taquaraçu do Sul through macroscopic analysis and microbiological evolution.

**Palavras-chave:** *Water quality, Macroscopic Analysis, Microbiological variables.*

## INTRODUÇÃO

A água trata-se de um recurso natural essencial para os seres vivos e pode ter sua qualidade influenciada pelas atividades naturais e antrópicas que são realizadas na bacia hidrográfica. Frente a isso, a Política Nacional dos Recursos Hídricos nos apresenta a água como um bem de domínio público, em que a mesma deve ser gerenciada de modo a garantir a sua qualidade e quantidade para suprir as necessidades básicas da população atual, bem como, assegurar a mesma para as futuras gerações (BRASIL, 1997).

Os recursos hídricos são capazes de transmitir inúmeras doenças aos seres humanos, as quais podem ser causadas pela ingestão da água sob condições microbiológicas inadequadas, através de sua escassez que afeta hábitos higiênicos ou ainda pela ingestão de alimentos que foram irrigados, lavados ou preparados com águas de potabilidade deplorável. Quando não segura, a água realiza o transporte de microrganismos patogênicos causando o comprometimento da saúde dos indivíduos (BRASIL, 2006).

Garantir um abastecimento de água seguro é imprescindível para a saúde pública, visto que a água potável é um direito do ser humano como questão de saúde e desenvolvimento em nível nacional, regional e local (OMS – Organização Mundial da Saúde, 2017). Conforme o Atlas Nacional do Brasil (SANTOS, 2010) nas propriedades rurais o índice de abastecimento de água por rede pública abrange 33% da população, enquanto nos centros urbanos o percentual é de 92%. A região Sul do país possui 29% das propriedades rurais abastecidas por redes públicas de água, ficando para trás apenas da região Nordeste (36%) e Sudeste (31%).

Em relação ao esgotamento sanitário, a região Sul ainda realiza a

maior cobertura por domicílio, totalizando 40,4%. A pequena parcela de efluentes que hoje recebe tratamento influencia diretamente na qualidade dos recursos hídricos, diminuindo, por exemplo, o número de bactérias coliformes totais na água, os quais são oriundos das excretas humanas. Além disso, outra questão que leva a contaminação das águas é a falta de tratamento adequado de dejetos do setor pecuário e a falta de recolhimento dos resíduos sólidos no interior dos municípios (SANTOS, 2010).

Devido ao baixo percentual de abastecimento de água por rede pública, a população rural acaba fazendo uso de fontes alternativas, que por muitas vezes não efetuam a desinfecção da água antes de realizar seu consumo. A OMS (2017) ressalta que a ausência de monitoramento dessas fontes de água alternativas associado a falta de informação dos habitantes sobre as consequências de consumir água de péssima qualidade levou a bilhões de casos de diarreia, sem contar o número de mortes infantis.

Outro aspecto a ser levado em consideração, são as contaminações que podem ocorrer no trajeto entre o poço/fonte de água até as torneiras das residências, como por exemplo, por tubulações deprecadas e rachaduras. Segundo Dawood et al. (2020), quando os contaminantes são introduzidos nos sistemas de abastecimento de água, estes se tornam uma ameaça para a potabilidade da água de consumo.

A bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) é um indicador de contaminação fecal recente e a mesma não deve se fazer presente em amostras de água utilizadas para o consumo humano (OMS, 2017; BRASIL, 2017). Rossi et al. (2020) ressaltam que a presença de organismos patogênicos nos recursos hídricos muitas vezes é elevada, sendo uma grande problemática já que podem transmitir doenças

de veiculação hídrica e, deste modo, para fins de monitoramento de saúde pública, faz-se o uso da bactéria *E. coli* como um indicador de qualidade da água.

No Brasil, os padrões de potabilidade da água de consumo humano oriunda de sistemas de abastecimento público ou sistemas alternativos, estão estabelecidos no Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5 de 28 de setembro de 2017 – Ministério da Saúde. Nela, além da potabilidade, ainda são definidos os padrões de vigilância e procedimentos de controle para que a água consumida seja segura (BRASIL, 2017). O Guidelines for Drinking-water Quality da World Health Organization (OMS, 2017), também apresenta padrões de potabilidade da água, a fim de assegurar o direito à saúde e bem-estar de todos os seres humanos.

Desta forma, percebe-se o quão relevante é o monitoramento da qualidade da água de consumo humano de propriedades rurais, visto que, muitas delas carecem de saneamento básico estando seus consumidores susceptíveis a doenças de veiculação hídrica. Com base nisso, o presente estudo buscou avaliar a qualidade microbiológica da água de propriedades rurais do município de Taquaruçu do Sul (RS), bem como realizar a análise macroscópica no entorno dos pontos de coleta de água a fim de verificar o grau de preservação das fontes de água.

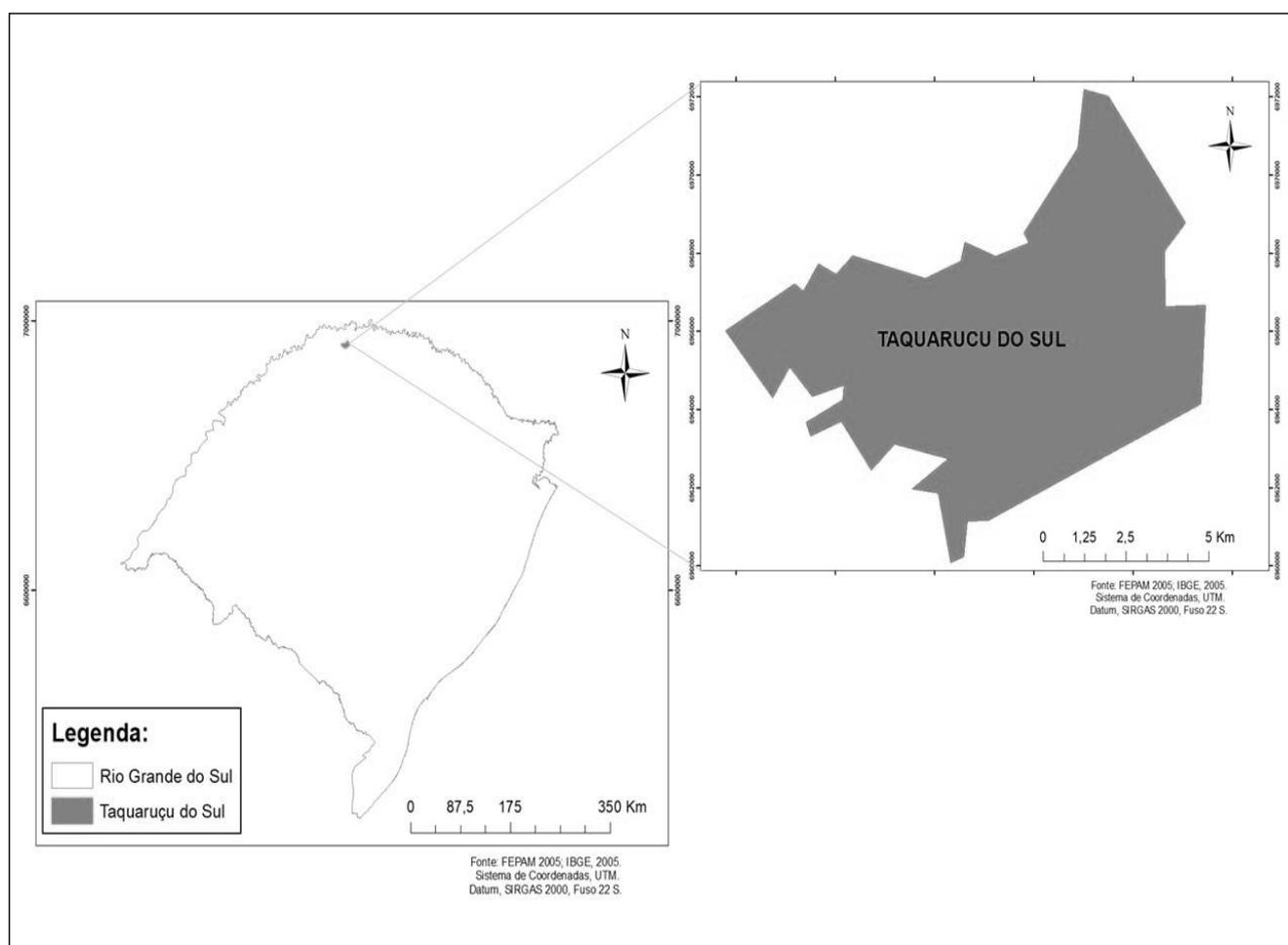
## METODOLOGIA

As três propriedades rurais selecionadas para a realização das coletas de água do presente estudo encontram-se localizadas na área rural do município de Taquaruçu do Sul, este com Latitude 27°24'00”

Sul e Longitude 53°28'02" Oeste, inserido na microrregião de Frederico Westphalen e mesorregião Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Sua área territorial é de 76,917 km<sup>2</sup> sendo sua economia principal a atividade agropecuária. Quanto às questões sanitárias, somente 30,4% das residências do município apresentam esgotamento sanitário apropriado (IBGE, 2010).

**Figura 1****Mapa de localização de Taquaruçu do Sul - RS**

Fonte: a autora (2021)



O município compõe a Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea, está situado ao norte da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, na região fisiográfica do Alto Uruguai, apresentando em sua geografia planaltos com a presença de chapadas. Possui solo aprofundado, como o nitossolo vermelho eutroférico e solos mais rasos como o luvisolo

crômico órtico, neossolo litólico eutrófico e cambissolo háplico eutrófico. Verifica-se a presença de rochas basálticas nesta região. Com relação a sua vegetação, ocorre uma sucessão de culturas entre verão e inverno sendo o solo usado constantemente em ambas às estações.

Quanto à hidrologia, no município de Taquaruçu do Sul pode ser encontrado o Sistema Aquífero Serra Geral I, sendo este um aquífero fraturado, com recarga através de suas fissuras nos basaltos. Neste tipo de aquífero pode ser detectada a presença de ânions bicarbonato e de cátions de cálcio, sódio e magnésio (MACHADO e FREITAS, 2005).

Baseado no último censo demográfico realizado no ano de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Estatística - IBGE, a população do Estado do Rio Grande do Sul foi de 10.693.929 habitantes destes total, 14,9% constitui a população rural do Estado e 85,1% a urbana. O município de Taquaruçu do Sul por sua vez possui 2.966 habitantes, sendo 1.802 residentes da área rural (IBGE, 2010).

As três propriedades rurais abordadas no presente estudo foram nomeadas como Propriedade 1, Propriedade 2 e Propriedade 3, e todas possuem como economia principal a atividade agropecuária em pequena escala, com a produção de peixes, plantação de fumo, produtividade leiteira, suinocultura e produção de grãos.

A água utilizada para o consumo das três propriedades rurais é de origem subterrânea. A Propriedade 1 é abastecida através de um sistema individual, com água provinda de uma nascente. A Propriedade 2 faz uso de água de um poço artesiano de uso coletivo. Já a Propriedade 3 faz a retirada da água de consumo de um sistema de drenagem, sendo o mesmo de uso coletivo. Em todas as propriedades foi realizada a análise microbiológica da água na caixa (reserva-

tório), utilizada para distribuição e na torneira da residência (ponto de consumo). Já a análise macroscópica foi realizada no entorno das fontes de água.

O período de coleta de água ocorreu entre setembro de 2017 a março de 2018, totalizando sete meses de monitoramento da água de consumo das três propriedades. Para a coleta das amostras de água utilizou-se frascos de vidro devidamente autoclavados (em triplicata). Ressalta-se que antes de iniciar a coleta de água as torneiras das residências foram completamente abertas, visando à saída da água que estivesse parada nos canos, com a finalidade de não ocasionar influência nos resultados das análises. Com relação aos pontos de coleta que apresentavam a caixa de distribuição, as amostras foram coletadas diretamente nesta.

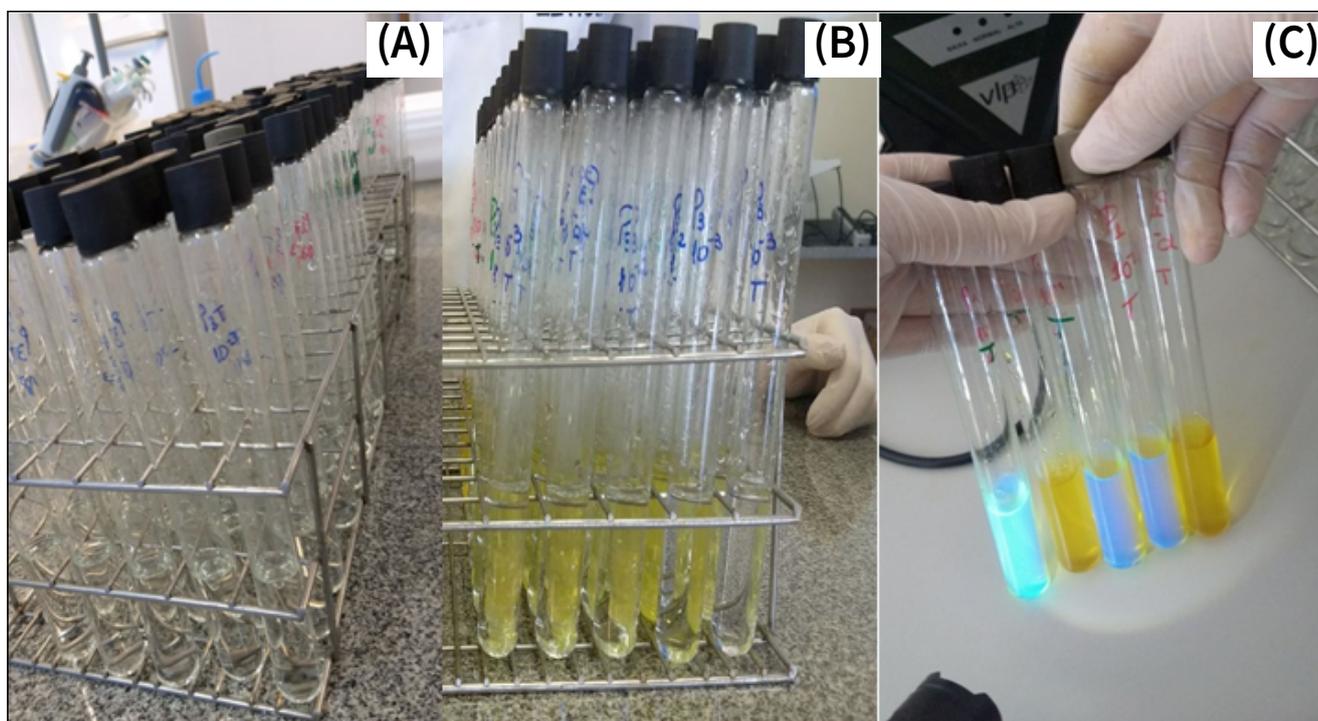
Posteriormente as coletas, as vidrarias foram acondicionadas em uma caixa térmica, conforme estabelecido pela ABNT NBR 9898/1987 (ABNT, 1987) cuja finalidade é garantir a preservação das características microbiológicas das amostras. Após o armazenamento, ocorreu o transporte até o Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Santa Maria - *Campus* Frederico Westphalen - RS para a realização das análises laboratoriais. As análises microbiológicas seguiram metodologia dos tubos múltiplos - 9221 F (APHA, 2012) (Figura 2).

Para a realização da análise macroscópica utilizou-se a metodologia adaptada de Gomes et al. (2005), que serve para identificar os impactos ambientais ao entorno das áreas em que ocorre a captação da água através de variáveis pré-determinadas (Tabela 1). Este tipo de análise é realizado *in loco*, a olho nu e gera uma visão integrada da área de coleta de água.

**Figura 2**

**Análise microbiológica da água realizadas nas três propriedades rurais: (A) Diluição das amostras nos tubos; (B) Tubos com a Leitura de Coliformes totais; (C) Tubos com a Leitura de *E. coli*.**

Fonte: a autora (2021).

**Tabela 1**

**Quantificação utilizada para a análise das variáveis macroscópicas.**

Fonte: adaptado de GOMES et al.(2005)

Coloração da água	(1) Escura	(2) Clara	(3) Transparente
Odor	(1) Forte	(2) Fraco	(3) Sem cheiro
Resíduos ao redor	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Sem resíduos
Materiais flutuantes	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Espumas	(1) Muita	(2) Pouca	(3) Ausente
Óleos	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Esgoto Doméstico	(1) Muito	(2) Pouco	(3) Ausente
Vegetação (preservação)	(1) Alta degrad.	(2) Baixa degrad.	(3) Preservada
Uso por animais	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detect.
Uso por humanos	(1) Presença	(2) Apenas marcas	(3) Não detect.
Prot. do local (cercado)	(1) Sem	(2) Proteção - CA	(3) Proteção - SA
Prox. de residências	(1) < de 50 m	(2) Entre 50 a 100 m	(3) >100 m
Tipo de área de inserção	(1) Ausente	(2) Privada	(3) Áreas prot.

\*Baixa degrad= Baixa degradação; Alta degrad= Alta degradação; Não detect= Não detectado; Prot. do local (cercado)= Proteção do local (cercado); Proteção - CA= Proteção com acesso; Proteção - SA= Proteção sem acesso; m= metros.

Para realizar a classificação do índice de impacto ambiental no entorno da área, pontua-se cada propriedade rural com base nas variáveis apresentadas na Tabela 1. Por fim, realiza-se o somatório total e através da pontuação obtida verifica-se a classificação do índice de impacto ambiental em grau de preservação como ótimo, bom, razoável, ruim e péssimo (Tabela 2).

**Tabela 2** Classificação quanto ao grau de preservação dos pontos de coleta.

Fonte: adaptado de GOMES et al. (2005)

Classe	Grau de preservação	Pontuação Final
A	Ótimo	37-39 pontos
B	Bom	34-36 pontos
C	Razoável	31-33 pontos
D	Ruim	28-30 pontos
E	Péssimo	< 28 pontos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo foram comparados com o Anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5 de 28 de setembro de 2017 - Ministério da Saúde, a qual “Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade” (BRASIL, 2017) e também foram comparados com o Guidelines for Drinking-water Quality da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017).

Para os coliformes totais (Tabela 3), na Propriedade 1 os valores encontrados na Caixa variaram de 130 (dezembro/2017) a 16000 NMP/100

mL (Setembro/2017 e Fevereiro/2018) e para Torneira os valores foram de 800 (Dezembro/2017) a 16000 NMP/100 mL (Setembro, Outubro/2017 e Março/2018). Na Propriedade 2 na Caixa foram detectados valores  $< 2$  (Setembro e Dezembro/2017 e Fevereiro e Março/2018) a 330 NMP/100 mL (Outubro/2017), no entanto a Torneira também apresentou valores de  $< 2$  (Fevereiro e Março/2018) a 330 NMP/100 mL (Outubro/2017). Na Propriedade 3 a Caixa apresentou valores de 20 (Setembro e Dezembro/2018, Janeiro e Fevereiro/2018) a 3000 NMP/100 mL (Março/2018) já a Torneira contou com uma variação de 170 (Setembro/2017) a 16000 NMP/100 mL (Março/2018).

Todas as propriedades monitoradas neste estudo apresentaram valores para coliformes totais e *E. coli* superiores ao estabelecido pelas legislações vigentes, Portaria de Consolidação Nº 5 28/09/2017 e Guidelines for Drinking-water Quality - 2017. De acordo com as mesmas, para que a água esteja apta ao consumo humano, deve haver ausência de ambas as bactérias em 100 mL de amostra de água (BRASIL, 2017; OMS, 2017).

Uma possível explicação, de modo geral para a maior quantidade de coliformes totais e *E. coli* nas torneiras quando comparadas com as respectivas caixas, dentro de cada mês amostrado no presente estudo, pode ser a associação de problemas com os encanamentos que transportam a água até as residências, podendo os mesmos estarem apresentando rachaduras e através disso, ocorrer a contaminação da água por estes grupos de bactérias.

Ressalta-se que na Propriedade 1, a má qualidade microbiológica da água de consumo pode estar relacionada com a falta de proteção (tampa) da caixa de água, que a partir do mês de outubro/2017 encontrou-se destampada. Por este motivo, havia a presença de folhas na água, aparecimento de algas e, possivelmente, facilitando outros

tipos de contaminações, como a defecação de pássaros, dentre outros. Ressalta-se ainda que há a presença de pastagens e criação de gado, com trânsito de animais muito próximo ao local de coleta.

A Propriedade 2 apresentou valores inferiores para as variáveis microbiológicas (coliformes totais e *E. coli*), quando comparada as outras duas propriedades deste estudo. Tal fato pode estar associado ao tipo de fonte de água, sendo a mesma um poço tubular artesiano e, devido a sua maior profundidade, há uma menor ocorrência de contaminação deste tipo.

Na Propriedade 3, foi facilmente percebida a depreciação da qualidade da água, em que a torneira apresentou, ao longo dos meses amostrados, valores superiores a caixa para os coliformes totais e *E. coli*. Uma possível explicação para tal fato é existir algum problema nos encanamentos que conduzem a água da caixa até a torneira da casa, ou seja, pode estar acontecendo uma contaminação do meio externo para dentro do encanamento, através de rachaduras nos canos, por exemplo.

Em se tratando da contaminação de águas subterrâneas do município de Taquaruçu do Sul, Fernandes et al. (2017) comentam que pelo fato do município possuir um grande número de atividades suinícolas, o mesmo poderia estar vulnerável a contaminação de seu aquífero, causado pelas constantes aplicações de dejetos líquidos suínos nas lavouras. Os autores ainda complementam que os resultados obtidos possuem relação com a geologia local, caracterizada pela presença de basaltos.

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Cavalcante (2014), cujo a presença de Coliformes Totais e *E. coli*, além de outros tipos de contaminações foram ocasionadas pela falta de higienização das caixas de água, bem como ausência de proteção (tampa

do reservatório), como pode ser verificado na Propriedade 1.

Pode-se observar através dos resultados obtidos (Tabela 3), que o pico da bactéria *E. coli* nas três propriedades ocorreu no mês de outubro/2017, sendo que este mês foi o que apresentou a maior precipitação pluviométrica (479 mm) durante o período de realização das coletas de água.

Na análise macroscópica, a coloração da água nas três propriedades rurais, durante o período amostral, apresentou-se clarificada ou transparente, não havendo odores, resíduos ao redor, espumas, óleos e esgotos (Tabela 4).

Pode ser detectada a presença de materiais flutuantes (folhas e galhos de árvores) apenas na caixa da Propriedade 1, visto que tal propriedade não apresentou proteção da caixa de água (tampa) a partir do segundo mês de coleta de água (outubro/2017). Quanto à vegetação no entorno da caixa, a mesma se mostrou preservada e contendo proteção através de cercas, não sendo detectado o uso da área por animais, apenas acesso para os proprietários. Ressalta-se também que a área é privada, distanciada a cerca de 100 m das residências mais próximas. Levando em consideração todos os aspectos mencionados anteriormente, a Propriedade 1 contabilizou 33 pontos, demonstrando Classe “C” com grau de preservação considerado Razoável.

**Tabela 3**

**Análise microbiológica da água de consumo (coliformes totais e *E. coli*) em NMP/100 mL**

Meses		Coliformes totais NMP/100 mL	<i>E. coli</i> NMP/100 mL
Propriedade 1	Set/2017	Caixa	16.000
		Torneira	16.000
	Out/2017	Caixa	9.000
		Torneira	16.000

Propriedade 1	Nov/2017	Caixa	5.000	20
		Torneira	3.000	20
	Dez/2017	Caixa	130	20
		Torneira	800	80
	Jan/2018	Caixa	2.800	40
		Torneira	2.800	40
	Fev/2018	Caixa	16.000	70
		Torneira	16.000	80
	Mar/2018	Caixa	9.000	40
		Torneira	16.000	70
Propriedade 2	Set/2017	Caixa	<2	<2
		Torneira	20	<2
	Out/2017	Caixa	330	<2
		Torneira	330	2.800
	Nov/2017	Caixa	20	<2
		Torneira	300	<2
	Dez/2017	Caixa	<2	<2
		Torneira	80	<2
	Jan/2018	Caixa	20	<2
		Torneira	20	70
	Fev/2018	Caixa	<2	<2
		Torneira	<2	20
	Mar/2018	Caixa	<2	20
		Torneira	<2	40
Propriedade 3	Set/2017	Caixa	20	20
		Torneira	170	40
	Out/2017	Caixa	170	1.400
		Torneira	330	2.200
	Nov/2017	Caixa	110	20
		Torneira	300	20
	Dez/2017	Caixa	20	20
		Torneira	300	20
	Jan/2018	Caixa	20	20
		Torneira	500	20
	Fev/2018	Caixa	20	20
		Torneira	500	40
	Mar/2018	Caixa	3.000	20
		Torneira	16.000	20

Para a caixa d'água da Propriedade 2 não foram constatados resíduos flutuantes. Esta caixa também é encontrada em uma área privada, com distanciamento a mais de 100 m de residências, apresentando degradação da vegetação devido ao uso agrícola da área no entorno. Com relação a pontuação, esta propriedade totalizou 32 pontos denotando classificação "C", representando grau de preservação Razoável.

A Propriedade 3 apresentou a caixa isolada através de cercas, contudo a área isolada é mínima. A caixa está localizada em um poteiro, ocorrendo o acesso de animais muito próximo à mesma, e ressalva-se que a vegetação encontrada nos arredores apresentou baixa degradação. Assim como as demais propriedades, a área é privada e quanto à distância de residências, estas podem ser encontradas em um raio entre 50 a 100 m. Pela quantificação das variáveis da análise macroscópica obteve-se um total de 32 pontos, enquadrando-se na Classe "C" com grau de preservação Razoável.

Gomes et al. (2005), ao realizar a análise macroscópica em seu estudo evidenciaram que quanto maior a proximidade de residências e a ausência de proteção da área, maior são os graus de impactos ambientais ocasionados. Isso se dá porque maiores são as tendências em ocorrer algum tipo de contaminação através das ações antrópicas, como a geração de resíduos domésticos (efluentes sanitários e resíduos sólidos), alteração da vegetação natural, além da ocupação da área por animais de sangue quente, podendo levar, por exemplo, a contaminação dos recursos hídricos por organismos patogênicos.

Lazarotto et al. (2020) ao analisarem os poços de água no município de Caiçara-RS, afirmam que é possível existir uma grande relação entre as condições ambientais e as alterações verificadas na qualidade da água, visto que as variáveis microbiológicas apresentaram grande sensibilidade aos impactos ambientais.

**Tabela 4** Classificação da análise macroscópica nas propriedades rurais estudadas

Variáveis analisadas	Propriedade 1 Caixa	Propriedade 2 Caixa	Propriedade 3 Caixa
Coloração da água	2	3	3
Odor	3	3	3
Resíduos ao redor	3	3	3
Materiais flutuantes	1	3	3
Espumas	3	3	3
Óleos	3	3	3
Esgoto	3	3	3
Vegetação (preservação)	2	1	2
Uso por animais	3	3	1
Uso por humanos	2	1	2
Proteção do local (cercado)	2	2	2
Proximidade de residências	3	3	2
Tipo de área de inserção	2	2	2
Total	32	33	32
Classe	C	C	C
Preservação	Razoável	Razoável	Razoável

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos neste estudo, verificou-se que as três propriedades rurais apresentaram contaminação por coliformes totais e *Escherichia coli*. A presença de ambas bactérias torna a água imprópria para o consumo humano. Assim, para que a água possa ser consumida sem causar danos à saúde humana é recomendado realizar-se a desinfecção das águas através de um sistema de

cloração, para que garanta o cloro residual na água e elimine todos os organismos patogênicos sempre que presentes.

Através da análise macroscópica pode ser verificado o Índice de Impacto Ambiental das três propriedades, em que todas elas apresentaram Classe “C”, indicando um grau de preservação Razoável. Para melhorar o grau de preservação no entorno dos pontos de coleta, sugere-se que haja uma maior proteção do local por vegetação natural, maior área isolada por cercas, evitando a proximidade de animais dos reservatórios e, manter os reservatórios fechados com tampas realizando a higienização dos mesmos a cada seis meses, conforme recomendado pela legislação.

Após a realização das coletas de água, análises microbiológicas, análise macroscópica e obtenção dos resultados, retornou-se as três propriedades rurais do município de Taquaruçu do Sul – RS no intuito de relatar a qualidade da água de sua propriedade e orientar os proprietários acerca dos cuidados que podem ser tomados para tornar a água potável.

## REFERÊNCIAS

American Public Health Association (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 22<sup>o</sup> ed. Washington, EUA. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 9898/1987**. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. Disponível em: < <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>> Acesso em 27 fev. 2021.

Brasil. Lei n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos,

cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1<sup>o</sup> da Lei n<sup>o</sup> 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n<sup>o</sup> 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Congresso Nacional**. Brasília, 08 jan. 1997. Disponível em: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm)>. Acesso em: 02 Fev. 2021.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: MS, 2006. 212 p. Disponível em:

<[http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia\\_controle\\_qualidade\\_agua.pdf](http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2021.

Brasil. Portaria de Consolidação n. 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Ministério da Saúde**, [s.l.], p. 825, 28 set. 2017. Disponível em: <<http://portal.arquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> Acesso em: 22 jan. 2021.

Cavalcante, R. B. L. Ocorrência de *Escherichia coli* em fontes de água e pontos de consumo em uma comunidade rural. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p.550-558, set. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993x>. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1980-993X2014000300015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-993X2014000300015&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 05 fev. 2021.

Dawood, T. et al. Toward urban sustainability and clean potable water: prediction of water quality via artificial neural networks. **Journal Of Cleaner Production**, nov. 2020. (no prelo) DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125266>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620353105>>. Acesso em: 01 fev. 2021.

Fernandes, G. D. et al. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero e superfície potenciométrica em Taquaruçu do Sul – RS. **Geologia Ambiental: Tecnologia para o desenvolvimento sustentável**. Ponta Grossa: Atena, 2017. p. 251-262. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-artigo/531>>. Acesso em: 02 fev. 2021.

Gomes, P. M; Melo, C. de; Vale, V. S do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia – MG: análise macro-

scópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p.103-120, 28 abr. 2005. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9169/5638>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Rio Grande do Sul - Panorama**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>>. Acesso em: 12 fev. 2021.

Lazarotto et al. Análise da potabilidade da água em poços rasos no município de Caiçara no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v.42, n. 86, 2020 Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/rt/printer-friendly/40496/html>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

Machado, J. L. F.; Freitas, M. A. de. **Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**.2005. Disponível em: <[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)>. Acesso em: 03 fev. 2021.

Organização Mundial da Saúde (OMS). **Guidelines for drinking water quality**, Fourth Edition incorporating the first addendum. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, Geneva, 2017. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>>. Acesso em: 14 fev. 2021.

Rossi, A. et al. Prediction of recreational water safety using *Escherichia coli* as an indicator: case study of the Passaic and Pompton rivers, New Jersey. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 714, p. 1-7, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136814>.

Santos, M. **Atlas Nacional do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 307 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=247603>> Acesso em: 12 fev. 2021.

# Análise da toxicidade do glifosato na *Eisenia andrei* como modelo de bioindicador da contaminação química do solo por agrotóxico

Jefferson Alves da Costa Júnior; Alexandre Couto Rodrigues; Ana Cláudia Guedes Silva; Chaiane Karoline Bazana; Gabriel de Menezes Trevisan

\*Universidade Federal de Santa Maria-RS, Campus de Frederico Westphalen.  
E-mail: dr.jeffersonjunior@gmail.com

## RESUMO

Frederico Westphalen é um município da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul considerado polo de produção agrícola pelo sistema convencional em que se destacam a soja, milho, feijão, fumo, hortigranjeiros, frutíferas, além das criações de suínos, frangos, gado bovino de corte e de leite em 20 localidades rurais distintas e, conseqüentemente, acarreta no uso elevado de produtos agrotóxicos, dentre estes o glifosato que é utilizado como herbicida (dessecante, mata-mato) pelos agricultores. O glifosato (N-(fosfometil)glicina) é um composto organofosforado sistêmico, não seletivo, de amplo espectro – ingrediente ativo mais vendido no mundo. Segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), vinculada a Organização Mundial da Saúde, o glifosato está classificado na categoria 2A (provável carcinógeno para humanos), podendo gerar possíveis doenças crônicas e agudas nos seres humanos decorrentes da contaminação por ingestão ou contato, citam-se algumas: Autismo, Conjuntivite, Depressão, Dermatites, Doenças Cardíacas, Edema Pulmonar, Pneumonite, Infertilidade, Insuficiência Renal, Linfomas, Alzheimer, Parkinson, Ulceração da Mucosa Gástrica, Cânceres. Neste trabalho, visou-se avaliar a toxicidade do Glifosato num organismo vivo “*Eisenia andrei*” (minhoca) como modelo de bioindicador da contaminação química no compartimento ambiental “solo”. Os resultados obtidos de sobrevivência do bioindicador nos tratamentos utilizados (concentrações

variadas de Glifosato x Substrato) e no Teste de Toxicidade Aguda comprovaram os efeitos deletérios do Glifosato nas minhocas, evidenciando-se assim o potencial de nocividade do glifosato em *Eisenia andrei*.

**Palavras-chave:** Agrotóxico, Bioindicador, *Eisenia andrei*, Glifosato, Toxicidade

## ABSTRACT

Frederico Westphalen is a municipality in the northwest region of the state of Rio Grande do Sul considered a production hub the conventional system in which soy, corn, beans, tobacco, vegetables, fruit stand out, in addition to pigs, chickens, beef cattle and milk in 20 different rural locations and, consequently, leads to the high use of pesticide products, including glyphosate which is used as a herbicide (drying agent) by farmers. Glyphosate (N- (phosphonomethyl) glycine) is a systemic, non-selective, broad-spectrum organophosphate compound - the best selling active ingredient in the world. According to the International Agency for Research on Cancer (IARC), linked to the World Health Organization, glyphosate is classified in category 2A (probable carcinogen for humans), being able to generate possible chronic and acute diseases in humans resulting from contamination by ingestion or contact, some are mentioned: Autism, Conjunctivitis, Depression, Dermatitis, Heart Disease, Pulmonary Edema, Pneumonitis, Infertility, Renal Failure, Lymphomas, Alzheimer, Parkinson, Gastric Mucous Ulceration, Cancers. In this work, the aim was to evaluate the toxicity of Glyphosate in a living organism *Eisenia andrei* (earthworm) as a model of bioindicator of chemical contamination in the environmental compartment "soil". The results obtained from the bioindicator's survival in the treatments used (varying concentrations of Glyphosate x Substrate) and in the Acute Toxicity Test proved the deleterious effects of Glyphosate in earthworms, thus evidencing the harmful potential of glyphosate in *Eisenia andrei*.

**Key Words:** Pesticide, Bioindicator, *Eisenia andrei*, Glyphosate, Toxicity

## INTRODUÇÃO

O Brasil tem se destacado mundialmente na área de produção agrícola e pelo uso e comércio de agrotóxicos. A partir de 2008 o Brasil atingiu o primeiro lugar no ranking mundial em uso desses produtos agroquímicos, consumindo cerca de 986,5 mil toneladas em 2008 e mais de 1 milhão de toneladas no ano de 2009, conforme dados do Anuário do Agronegócio 2010 (GLOBO RURAL, 2010). Esses dados são preocupantes quando se adentra na área de toxicologia Ambiental e Humana, pois representaria um consumo aproximado de 5,2 kg de ingredientes ativos de xenobiontes para cada habitante brasileiro, destacando-se os herbicidas que representam 48% dos agrotóxicos utilizado no Brasil (Londres, 2011; Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal/Sindiveg, 2020). Os estudos publicados por Pimentel et al., 1992, com base em dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), já revelavam uma estimativa a cerca das intoxicações por agrotóxicos ao nível mundial, a qual ocorreria a cada dois minutos e proporcionaria cerca de 20 mil mortes de trabalhadores por ano. Frederico Westphalen é considerado um polo de produção agrícola da Região noroeste do estado do Rio Grande do Sul em que se destacam a soja, milho, feijão, fumo, hortigranjeiros, frutíferas, além das criações de suínos, frangos, gado bovino de corte e de leite em 20 localidades rurais distintas e, conseqüentemente, acarreta no uso elevado de produtos agrotóxicos (CAMPOS, 2004). A atividade agrícola convencional tem sido apontada como principal responsável pela contaminação química de compartimentos ambientais como: solo, água, ar, através do uso de maneira intensiva de agrotóxicos para oca-

sionar o aumento da produção agrícola pelas práticas de controle de pragas e ervas daninhas. Contudo, esses produtos agroquímicos utilizados na produção agrícola vêm gerando impactos sobre o ambiente e à saúde humana (RIBAS & MATSUMURA, 2009). Os agrotóxicos, segundo dados da ANVISA (2008), são constituídos de agentes químicos capazes de exterminar, combater ou repelir a vida. Dentre as suas classificações, os agrotóxicos estão definidos de acordo com o grupo químico e o organismo alvo: inseticidas, fungicidas, herbicidas, raticidas, acaricidas, nematicidas, molusquicidas, fumigantes, podendo ser orgânicos de síntese, inorgânicos ou botânicos (CARDOSO, 2011). Os agrotóxicos adentram na denominação de compostos xenobióticos, os quais compreendem uma longa lista de compostos químicos como: clorados, fosforados, organofosforados, organoclorados, carbamatos, policíclicos aromáticos, hidrocarbonetos, além de bifenóis policlorados (PCBs), dioxinas e detém elevada capacidade de distribuição e, portanto, de contaminação dos compartimentos ambientais no planeta Terra (EDUCAÇÃO, 2012). Dentre os agrotóxicos (xenobiontes) tem se destacado, ao nível mundial, o agente químico Glifosato (N-fosfonometil -glicina), um herbicida de ação sistêmica, não seletiva, utilizado nas lavouras como pós-emergente para o controle de ervas daninhas, tendo o uso registrado pela Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency – EPA) dos Estados Unidos da América em junho de 1986 (EPA, 1994). Dentre as principais lavouras em que os agricultores utilizam o glifosato no combate e controle de ervas-daninhas, citam-se: soja, milho, arroz, feijão, algodão, trigo, fumo, cana-de-açúcar, uva, ameixa, banana, cacau, café, citros, maçã, mamão, pêra, pêssego, seringueira e pastagens (Anvisa, 2020). A toxicodinâmica do glifosato e do seu metabólito, o ácido aminometilfosfônico (AMPA), no organismo de vegetais e de microrganismos está

bem descrita na literatura, comprovando a inibição enzimática da enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), ou seja, na via metabólica da enzima do ácido chiquímico que interfere na síntese dos aminoácidos aromáticos “fenilalanina, tirosina e triptofano” promovendo, conseqüentemente, a morte das plantas e microrganismos (RAHE, 2007). O efeito da toxicidade do glifosato em animais ainda é muito divergente entre alguns autores, há os que consideram baixa a toxicidade do glifosato, enquanto outros relacionam os efeitos tóxicos deste xenobionte tanto às doenças sub-agudas, agudas como as crônicas, tais como: Autismo, Conjuntivite, Depressão, Dermatites, Doenças Cardíacas, Edema Pulmonar, Pneumonite, Infertilidade, Insuficiência Renal, Linfomas, Alzheimer, Parkinson, Ulceração da Mucosa Gástrica, Doenças congênitas, teratogênicas, tumores e até mesmo o câncer, quando da exposição da massa corpórea animal por períodos prolongados em doses acima da Ingestão Diária Aceitável ( $ADI = 0,05 \text{ mg.Kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) – WHO, 1994; ANTONIOU, et al., 2012. Conforme a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa, 2020) foi definido a quantidade máxima de resíduo do glifosato nos produtos agrícolas brasileiros, até o seu consumo, o qual é expresso como Limite Máximo de Resíduo (LMR) por kilo, sendo específico para cada cultura; desta forma o LMR para o milho é  $1,0 \text{ mg/kg}$ , enquanto para a cultura da soja o LMR é de  $10,0 \text{ mg/kg}$ . Outro aspecto relevante no estudo do princípio ativo do agrotóxico, diz respeito a sua mobilidade e efeito nocivo aos seres vivos nos compartimentos ambientais. Nesse sentido, o componente ativo do xenobionte que geralmente é lançado no ar em minúsculas gotículas (spray, atomização) para atingir partes das plantas-alvo no processo de pulverização, também poderá atingir os compartimentos do solo, tanto o solo da cobertura vegetal, como o da população microbiana, ocasionando efeitos deletérios na biota e mi-

crobiota atingidas. Ainda, o agente ativo do xenobionte quando pulverizado nas culturas para erradicar as plantas daninhas, também poderá poluir as águas, tais como: fontes, água de superfície, água de subsuperfície, sangas, riachos, rios devido ao processo de deriva da substância pulverizada pela ação dos ventos, bem como à lixiviação e erosão do solo, o que poderá proporcionar danos dos mais diversos aos compartimentos ambientais, assim como efeitos nocivos na fauna e flora aquática, bem como aos animais e seres humanos que consumirão essas águas contaminadas (SABIK et al, 2000; OLIVEIRA, 2005). É importante destacar que o xenobionte livre irá interagir no compartimento do solo tanto através dos mecanismos de difusão e fluxo de massa, onde sofrerá reações de oxido-redução quando em contato com o material orgânico e mineral presentes no solo à mineralização para a sua fixação no solo, com a possível redução no impacto ambiental, mas também poderá sofrer modificações químicas que aumentariam o poder ativo tóxico do xenobionte pelos processos de bioacumulação e biomagnificação, o que ocasionaria graves danos aos ecossistemas e, conseqüentemente, à saúde humana (SISINNO e OLIVEIRA, 2000; CAMARGO, 2004). No sentido ecológico mais amplo, quanto a importância do solo, deve-se destacar que este compartimento ambiental é constituído por fatores físico-químicos e biológicos sendo a base responsável pelos processos de produtividade agrícola, destacando-se a harmônica interação desses fatores na expressão da fertilidade do solo que é de suma importância à manutenção dos ecossistemas desse habitat, assim como ao desenvolvimento da fauna, flora e à saúde dos seres humanos (DORAN & PARKIN 1994; DORAN & ZEISS 2000). Dentre as atividades biológicas no solo, as minhocas tem sido consideradas essenciais para manter a fertilidade e, conseqüentemente, favorecer a produtividade das culturas

agrícolas, as quais poderão ser afetadas pelo uso indevido de insumos químicos, principalmente pela ação deletéria nas biotas ocasionado pelos defensivos agrícolas, agrotóxicos (EDWARDS & BOHLEN, 1996). Nesse sentido, as minhocas tem sido o organismo vivo capaz de indicar as qualidades de fertilidade do solo, uma vez que são responsáveis pelo processo de decomposição da matéria orgânica, interferindo na capacidade físico-químico do solo através da formação de galerias (túneis) e na deposição de coprólitos na superfície e na matriz edáfica, bem como pela facilidade do agricultor verificar a sua existência, número e características desse organismo no compartimento do solo (LAVELLE 1988; BRUSSAARD, 2007). Nesse sentido, Lavelle et al., 1997, descreveu as principais interações das minhocas no habitat do solo, incluindo macro, meso e micro-fauna, ou seja, as atividades das minhocas interferem nas atividades das bactérias, fungos, protozoários, nematóides, ácaros, colêmbolos e outros animais presentes no solo favorecendo o equilíbrio desse ecossistema (BROWN et al., 2000; BROWN & DOUBE 2004, EDWARDS & ARANCÓN 2005). Neste contexto, as minhocas podem ser utilizadas como indicadoras das perturbações físico-químicas e biológicas que ocorrem no ecossistema do solo devido as ações antrópicas, como por exemplo: calagens, adubações no solo, tipo de cultura implementada, sistema de cultivo e manejo da cultura, uso de defensivos químicos (PAOLETTI, 1999). Assim, para avaliar o impacto ambiental ocasionado por compostos xenobióticos presentes no solo, como os agrotóxicos, as minhocas da espécie *Eisenia foetida* e *Eisenia andrei* têm merecido destaque nas pesquisas científicas na área de testes de toxicidade, uma vez que estas espécies são consideradas como excelente indicador biológico (bioindicador) da poluição do compartimento solo. Nesse sentido, para atender as necessidades de avaliação do impacto ambiental

gerado por substâncias químicas foram criados métodos de análise de toxicidade, os quais consistem na exposição de organismos vivos às substâncias químicas sob diferentes concentrações por um determinado período de tempo em condições padronizadas (GHERARDI-GOLDSTEIN, 1990). Destacou-se, como objetivo deste trabalho, a avaliação da toxicidade do agrotóxico Glifosato, o mais utilizado nas lavouras do município de Frederico Westphalen, através de testes de toxicidade no organismo vivo *Eisenia andrei* que serviu como modelo de bioindicador da contaminação química no compartimento ambiental solo. Justificou-se o desenvolvimento deste trabalho na área de toxicidade de agrotóxicos, em modelo de organismo vivo (bioindicador) do solo, a fim de se estimar o potencial de periculosidade ambiental que está sendo gerado pelo uso de agrotóxicos, especificamente pelo glifosato, nas regiões agrícolas produtoras de alimentos do município de Frederico Westphalen-RS.

## METODOLOGIA

Conforme a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 1984), a avaliação do potencial toxicológico de substâncias químicas presentes no solo foram realizadas com base nos testes de toxicidade aguda da OECD 207/1984 e ABNT – NBR 15537/2007, utilizando o herbicida glifosato nos bioindicadores, as minhocas. Foram realizadas três análises, com base no tempo de sobrevivência do bioindicador nas condições padronizadas. A primeira ocorreu em tratamentos com quatro concentrações diferentes em triplicata, além do controle negativo, em cada tratamento foi acrescentado 15 mL/L das soluções de Glifosato nas amostras do bioindicador, com exceção das amostras de controle. Os tratamentos

continham: um indivíduo da espécie do bioindicador, o substrato (solo) contendo o glifosato. A segunda análise foi realizada dentro dos mesmos padrões, porém sem o substrato, somente com o papel filtro umedecido, o agrotóxico e o bioindicador. Na terceira análise, as doses de glifosato, de princípio ativo isopropilamina de N-phosphonomethyl-glicina, foram aplicadas diretamente no tecido epitelial dos bioindicadores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### ANÁLISE DE SOBREVIDA DO BIOINDICADOR

Com base no tipo de substrato (papel filtro; papel filtro umedecido; húmus a base de ervas; húmus a base de esterco bovino enriquecido com ervas, cascas de banana e de melancia) em que o bioindicador se encontra, foi possível verificar a interação do glifosato com as substâncias presentes no substrato e a sua ação sobre o tempo de vida do bioindicador. Neste sentido, percebeu-se que o aumento da concentração de matéria-orgânica nos substratos testados reduziu os efeitos deletérios do glifosato sobre as minhocas, favorecendo o tempo de sobrevivência desse organismo pelo fator protetivo da matéria orgânica, a qual tende a reagir com o agente químico, conforme pode ser comprovado através dos dados apresentados na tabela 1. Este fato nos permite inferir que se o glifosato fosse pulverizado diretamente nas minhocas, estas não sobreviveriam por mais de 6 dias, dependendo da umidade do solo. Também, pode-se inferir que a cobertura vegetal e a presença de matéria orgânica no compartimento do solo são capazes de interferir na atividade química do glifosato, reduzindo o impacto ambiental e, conseqüentemente, favorecendo a atividade das minhocas que são

de suma importância para o ecossistema e à fertilidade do solo, bem como às atividades agrícolas na produção de alimentos.

**Tabela 1**

**Tempo de sobrevivência de indivíduos da espécie *Eisenia andrei* em condições padronizadas de concentração de 1mL de glifosato /L, umidade, em diferentes substratos à temperatura ambiente.**

Bioindicador	Substrato	Tempo de Sobrevivência (dias)
<i>Eisenia andrei</i>	Papel filtro umedecido (figura 1)	4
<i>Eisenia andrei</i>	Papel filtro re-umedecido	6
<i>Eisenia andrei</i>	Húmus a base de ervas	14
<i>Eisenia andrei</i>	Húmus a base de esterco bovino enriquecido com ervas, cascas de bananas e resíduos de melancia.	36

**Figura 1**

**Imagem das minhocas da espécie *Eisenia andrei* sobre o substrato papel filtro umedecido.**

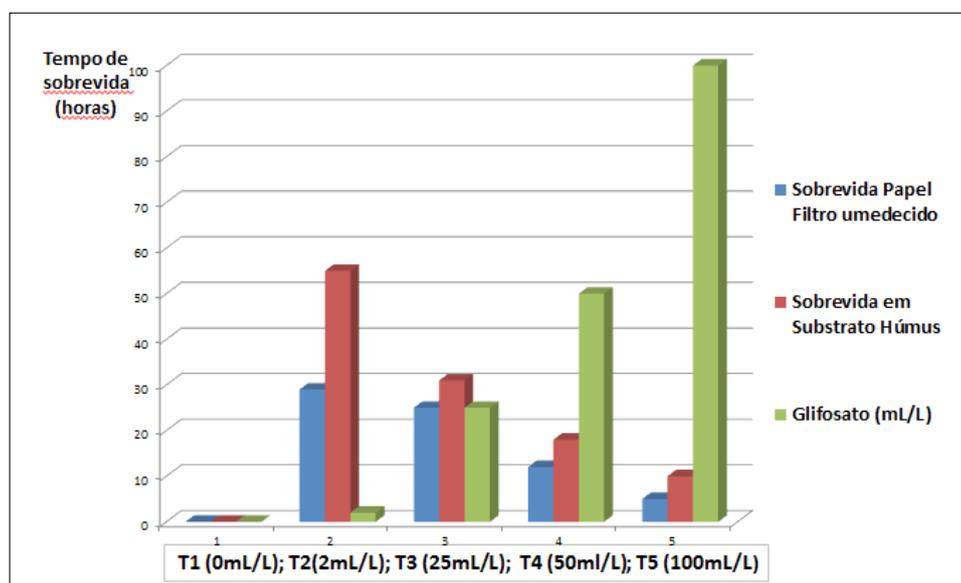


A partir dos resultados obtidos no teste de sobrevivência das minhocas, nos diferentes substratos e na concentração de 1mL de glifosato diluído em 1L de água (apresentados na tabela 1), foi possível estabelecer a relação do efeito protetivo que a matéria orgânica possui para o bioindicador quando este se encontra num ambiente contaminado

com uma substância tóxica. Entretanto por entender que o húmus a base de esterco bovino enriquecido com ervas acrescentado de cascas de bananas e resíduos de melância foi o que melhor protegeu as minhocas dos efeitos nocivos do glifosato, mas não é encontrado naturalmente no meio ambiente, pois fora formulado na instituição, este tratamento não foi utilizado na testagem de sobrevivência em concentrações crescentes de glifosato (Figura 2), dando-se preferência ao uso do húmus formado pelas ervas em decomposição que é o mais frequentemente encontrado no ambiente natural. Os resultados puderam comprovar que em concentrações crescentes de glifosato ocorrerá a redução do tempo de sobrevivência das minhocas para os tratamentos testados. Notadamente, o substrato que contém matéria orgânica foi capaz de promover o maior tempo de sobrevivência das minhocas em todas as concentrações testadas de glifosato quando comparado com o substrato denominado papel filtro umedecido (hidratado), conforme apresentado na figura 2.

**Figura 2**

**Análise de sobrevivência do bioindicador (*Eisenia andrei*): Tratamentos 1 (Testemunha) à 5 (concentrações variáveis de glifosato) em diferentes substratos (papel filtro umedecido; húmus a base de ervas).**

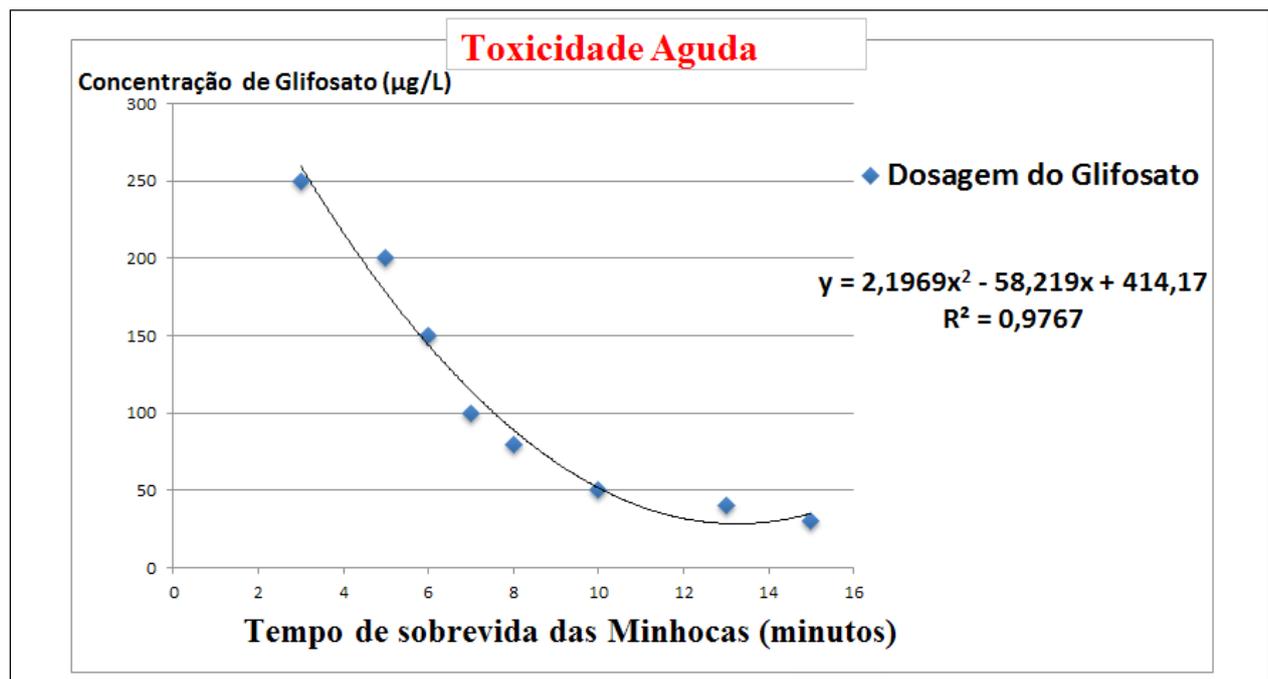


## TESTE DE TOXICIDADE AGUDA

Os resultados do teste de toxicidade aguda puderam comprovar o efeito nocivo do herbicida glifosato sobre o bioindicador (minhocas), quando um jato de glifosato era aplicado diretamente sobre a epiderme das minhocas na forma de spray, mesmo quando as concentrações eram consideradas baixas (30-50 µg/L) as minhocas não sobreviviam mais do que 15 minutos; conforme está representado na figura 3.

**Figura 3**

**Teste de Toxicidade aguda nas minhocas pelo agente químico glifosato**



## CONCLUSÃO

As análises puderam comprovar o efeito tóxico do agrotóxico “glifosato” sobre o bioindicador, minhocas da espécie *Eisenia andrei*. Comprovou-se que o solo rico em matéria orgânica teve efeito protetivo para as minhocas, agindo como fator de redução do efeito

ecotóxico do glifosato no bioindicador, em todas as concentrações de glifosato testadas, principalmente em baixas concentrações deste herbicida. Entretanto, a partir da concentração de 25mL/L de glifosato, observou-se que o efeito de proteção do substrato húmus (solo com matéria orgânica) ao bioindicador já se reduz em cerca de 55%, acarretando em efeitos nocivos a este organismo de extrema importância no ecossistema do solo. Para amalgamar o efeito tóxico do glifosato sobre as minhocas, foi possível constatar o potencial de nocividade real deste agente químico nesta espécie de minhoca (*Eisenia andrei*) no Teste de Toxicidade Aguda. Neste contexto, os resultados obtidos neste trabalho permitem conferir as minhocas o título de excelente organismo bioindicador de contaminações no compartimento ambiental do solo, servindo, inclusive para o desenvolvimento de correlações acerca dos fatores bióticos e abióticos que interferem na fertilidade do solo. Portanto, as minhocas da espécie *Eisenia andrei* permitiram comprovar os efeitos deletérios ocasionado pelo glifosato, inferindo-se que a presença deste herbicida em concentrações indevidas no meio ambiente poderá interferir no metabolismo de outros seres vivos do solo, bem como de outros compartimentos ambientais interligados na cadeia trófica, como as aves e animais de criação, bem como no próprio homem.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15537: Ecotoxicologia Terrestre – Ecotoxicologia Aguda – Método de ensaio com minhocas. 2007.

ANVISA - Agrotóxicos e Toxicologia. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/>

Anvisa+Portal/ Anvisa/Inicio/Agrotoxicos+e+Toxicologia>. Acesso em 19 de outubro. 2020.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDCn. 10 de 22 de fevereiro de 2008. Estabelece a reavaliação toxicológica dos agrotóxicos. Brasília. Disponível em: HTTP//

portal.anvisa.gov.br. Acesso em 16 de dezembro de 2021.

Antoniou, M.; Habib, M.; Howard, C.V.; Jennings, R.C.; Leifert, C.; Nodari, R.O.; Robinson, C.J.; Fagan, J. Teratogenic effects of glyphosate-based herbicides: Divergence of regulatory decisions from scientific evidence. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, S4:006. doi.org/10.4172/2161-0525.S4-006, 1-13, 2012.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15537: Ecotoxicologia Terrestre – Ecotoxicologia Aguda – Método de ensaio com minhocas. 2007.

Brown, G.G.; Barois, I.; Lavelle, P. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology*. 36: 177-198, 2000.

Brown, G.G.; Doube, B. M. Functional interactions between earthworms, microorganisms, organic matter, and plants. Pp. 213-239. In: C. A. Edwards (Ed). *Earthworm ecology*, 2nd Ed. CRC, Press, Boca Raton, 2004.

Brussaard, L.; Rüter P. C.; Brown, G.G. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 121: 233-244, 2007.

Camargo, O. A. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. *O Agrônomo*, Campinas, v.56, n.1, p.1-8. 2004.

Campos, F.M. Da diversificação da agricultura familiar à pluriatividade no município de Frederico Westphalen – RS. 2004. 145f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

Cardoso, L.M. Pesticidas. 2011. Disponível em: <http://www.infoescola.com/agricultura/pestici->

das. Acessado em: 17 de janeiro de 2021.

Doran, J. W. & T. B. Parker. Defining and assessing soil quality. Pp. 3-21. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek and B. A. Stewart (Eds). *Defining soil quality for sustainable environment*. SSSA Special Publication No. 35, Madison, 1994.

Doran, J. W. & M. R. Zeiss. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. 15: 3-11, 2000.

Educação, P. Biodegradação de Xenobióticos. *Artigos de Biologia*, 15 de agosto de 2012. Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/biologia/artigos/15528/biodegradacao-de-xenobioticos>> . Acesso em 20 de fevereiro de 2021.

Edwards, C. A.; Bohlen, P. J. *Biology and ecology of earthworms*, 3rd Ed. Chapman and Hall, London, 1996.

Edwards, C.A.; Arancon, N. Q. Interactions among organic matter, earthworms and microorganisms in promoting plant growth. Pp. 327-376. In: F. Magdoff and R. Weil (Eds). *Functions and management of organic matter in agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, 2005. EPA. Reregistration Eligibility Decision (RED) - Glyphosate. Washington, DC, 291p., 1994.

Gherardi-Goldstein, E.; Bertoletti, E.; Zagatto, P. A.; Araújo, P. R. A.; Ramos, M. L. L. C. Procedimentos para a utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos. São Paulo: CETESB, 17p., 1990.

Globo Rural. Anuário do Agronegócio 2012. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,DML22719-18157,-00-anuario+do+agronegocio.html>. Acesso em 06 de novembro de 2020.

Lavelle, P. Earthworms and the soil system. *Bio-*

logy & Fertility of Soils. 6: 237-251, 1988.

Londres, F. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. Rio de Janeiro: AS-PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 2011.

OECD; Organization for Economic Co-operation and Development. Earth worm acute toxicity tests. Guideline for the Testing of Chemicals 207, Paris, France, 1984.

Oliveira, S.S. O papel da avaliação de riscos no gerenciamento de produtos agrotóxicos: diretrizes para formulação de políticas públicas. 2005. 236 p. Tese em Saúde Ambiental - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Pimentel, D. et al. Environmental and economic impacts of reducing U.S. agricultural pesticides use. In: Handbook of pest management. Boca Raton: CRC Press, p. 679-697, 1992.

Rand, G. M.; Petrocelli, J. R. Fundamentals of aquatic toxicity. Ed. McGraw Hill International Book Company, 666 p., Washington, 1985.

Rahe, J. E. Otimização da Produção. Informações agronômicas – International Plant Nutrition Institute, Brasil, n.117, p. 4-5. 2007. Dispo-

nível em:<[http://www.ipni.net/publication/iabrazil.nsf/0/1C52A17DC9F64AFE83257AA1006168E7/\\$FILE/Parte-James.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrazil.nsf/0/1C52A17DC9F64AFE83257AA1006168E7/$FILE/Parte-James.pdf)>. Acesso em fevereiro de 2021.

Ribas & Matsumura; A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e o meio ambiente. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2009.

Sabik, H. Multiresidue methods using solid-phase extraction techniques for monitoring priority pesticides, including triazines and degradation products, in ground and surface waters. Journal of Chromatography, v.885, p.217- 236, jul. 2000.

Sindiveg. Estatísticas do Mercado Total de Agrotóxicos. <https://sindiveg.org.br/mercado-total/>. Acesso em 20 de fevereiro de 2021.

Sisinno, C.L.S.; Oliveira, R.M. Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro, 2000.

World Health Organization. Glyphosate. Environmental Health Criteria 159, 177 Seiten, 3 Abbildungen und 25 Tabellen. World Health Organization, Preis: 27, Sw.fr., Geneva 1994.

# Modelagem hidrológica de bacias hidrográficas na área urbana de Frederico Westphalen (RS) com apoio do software HEC-1

Mancuso, M.A.\*, Delarmelin, W.CH.

\* Universidade Federal de Santa Maria, malvamancuso@gmail.com

## RESUMO

A urbanização interfere nas variáveis do ciclo hidrológico, impactando diretamente no escoamento das águas superficiais. A modelagem hidrológica permite identificar zonas críticas para o escoamento e inferir cenários, de forma a apoiar medidas estruturais como é o caso das obras de drenagem em áreas urbanas. Este estudo propõe a aplicação do software Watersheed Modeling System (WMS) e a sua interface HEC-1 para identificar as zonas de críticas para o escoamento de águas superficiais na área urbana do município de Frederico Westphalen – RS. Para realizar a modelagem hidrológica foram utilizados dados de topografia urbana e do uso do solo, e os softwares WMS 10.0 e ArcGIS 10. A partir da modelagem hidrológica foram delineadas 7 (sete) microbacias hidrográficas e pelo método de banda de cores foram determinadas as classes de uso do solo. Considerando o tipo de solo e o enquadramento do uso, de acordo com o método SCS, foi obtido o valor médio de CN para cada bacia. A partir dos dados cartografados foi aplicado o modelo HEC-1, da interface do WMS 10.0, que permitiu estimar o volume, o tempo e a intensidade do pico de cheia, e a duração do escoamento superficial em cada uma das bacias urbanas. Para parâmetros de simulação, foi selecionado um evento de duração de 5 horas, ocorrido em 5/10/2016, que resultou num escoamento variável entre 21467,7 m<sup>3</sup> (na Bacia 3) e 5175,6 m<sup>3</sup> (na Bacia 2), a qual gerou o menor escoamento, devido ser a bacia hidrográfica de

menor tamanho. Na simulação de modificação do uso do solo da Bacia 5 (que altera o seu CN) os impactos indicam aumento de 69% no escoamento para área com maior urbanização e redução de 77% em relação à cobertura florestal.

**Palavras-chave:** *Modelagem hidrológica, Escoamento superficial, Drenagem urbana, Watersheed Modeling System, HEC-1*

## ABSTRACT

Changes due to urbanization have a direct impact on the hydrological cycle, as in the runoff by the increase of soil sealing. Hydrological models allow the identification of critical areas for runoff and the main flooding areas. Modeling tools can predict flow scenarios, supporting the definition of management strategies such as the construction of drainage networks. The objective of this study is to apply the Watershed Modeling System (WMS) software and the HEC-1 module to identify critical areas for urban runoff in the city of Frederico Westphalen (RS). For this, surface altitude, land use and precipitation were spatialized in ArcGIS and the maps were imported into WMS. Seven urban watersheds were delimited in WMS. By using the colored band methods a map of land use classes was extracted. Considering the type and the soil use, the average CN of each watershed was estimated by the SCS methods. Base on that data, the HEC-1 model of the WMS interface calculated the volume, time and flow intensity for each watershed under a specific precipitation event. In this study, HEC-1 simulated a 5 h precipitation event due on October 5<sup>th</sup>, 2016. On that day, the runoff reached 21467.7 m<sup>3</sup> in the 3<sup>rd</sup> watershed and 5175.6 m<sup>3</sup> in the 2<sup>nd</sup> watershed (the small one). The simulation of changes in land use in the 5<sup>th</sup> watershed was run for an increase in urbanization (and in soil sealing), resulting on an increase in runoff of up to 66%. For the simulation of increase in green areas, the result was a decrease in runoff up to 77%.

**Key Words:** *Hydrological modelling, Runoff, Urban drainage, Watersheed Modeling System, HEC-1*

## INTRODUÇÃO

Frederico Westphalen é um município brasileiro com 264,5 km<sup>2</sup> e população de aproximadamente 28.843 habitantes (IBGE, 2010). Está localizado a uma altitude média de 566 metros em relação ao nível médio do mar, e se situa a 27°21'33" de latitude Sul e a 53°23'40" de longitude Oeste, na região noroeste do Rio Grande do Sul. O clima, mesotérmico e úmido, é característico de zonas temperadas assim como as mudanças bruscas de temperatura ao longo do ano mas, a temperatura média anual está em torno dos 18 °C, enquanto a precipitação pluviométrica média anual é de 1.871 mm aproximadamente, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, e precipitações diárias que podem atingir 180 mm (ANA, 2020).

A densa rede hidrográfica pertence à bacia do Rio Uruguai e tem como principais corpos hídricos afluentes o Rio da Várzea e o Rio Pardo. Os rios Lajeados Perau, Chiquinha, Castelinho e Mico são importantes tributários do Rio da Várzea, que é o principal curso de água a concentrar a drenagem do município de Frederico Westphalen.

O município tem como base econômica a prestação de serviços e as atividades industriais e agropecuárias, os quais geram um PIB anual de R\$ 450.000, R\$ 155.000 e R\$ 62.300, respectivamente e contribuem para um IDH médio de 0,76 (IBGE, 2010).

Nos últimos anos o município sofreu um elevado processo de urbanização com aumento da área urbana de 270,73 ha em 1987, para 565,96 ha em 2011; o que representa crescimento de áreas menos permeáveis de 109,5 %. Atualmente a área urbana corresponde a 2,14 % da área total do município (BERTANI, 2012) mas a população urbana do município que era de 9230 habitantes, concentrando 36,1 % do total em 1970, em 2010 já concentrava 23.333 habitantes, o equivalente a

80,9 % da população do município (IBGE, 2010).

Com um crescimento urbano acelerado, também se constata as alterações nas formas do relevo, a artificialização dos cursos hídricos naturais e a impermeabilização do solo o que trouxe, como consequência, a modificação do processo de drenagem natural. Sem contar com a implementação de instalações de saneamento básico adequadas, a cidade sofre com alagamentos frequentes que ocorrem nos períodos de chuvas intensas (AZEREDO, 2021).

Este estudo teve por objetivo realizar a modelagem hidrológica de bacias de drenagens urbanas, para analisar o comportamento do escoamento pluvial e fluvial durante eventos de precipitação e estimar parâmetros hidrológicos como o tempo de recessão e os volumes escoados, considerando o impacto do uso do solo nessas variáveis.

## METODOLOGIA

Para a elaboração do modelo hidrológico das bacias de drenagens da área urbana de Frederico Westphalen foram desenvolvidas as seguintes atividades: 1. Delimitação das bacias urbanas; 2. Classificação do tipo de solo; 3. Classificação do uso e ocupação do solo; 4. Determinação de valor CN e tempo de recessão (*Lag Time*); e 5. Geração de hidrogramas de escoamento superficial.

Os dados primários digitais utilizados na elaboração do modelo hidrológico foram: mapa topográfico de detalhe, imagem de alta resolução da área urbana, limites municipais (Quadro 1 e Figura 1).

As bases cartográficas digitais foram trabalhadas nos *softwares Watershed Modeling System – WMS 10.0* (AQUAVEO, 2015) e *ArcGis 10.1* (ESRI, 2014). O WMS é uma interface de modelagem gráfica que permite simular as fases da hidrologia e a hidráulica das bacias hidro-

gráficas, aplicando ferramentas de automatização de processos de modelagem, como delimitação automática de bacias, os cálculos de parâmetros geométricos, de sobreposição de GIS, incluindo método CN, coeficientes de rugosidade, entre outros processos (DANIEL et al., 2011).

### Quadro 1

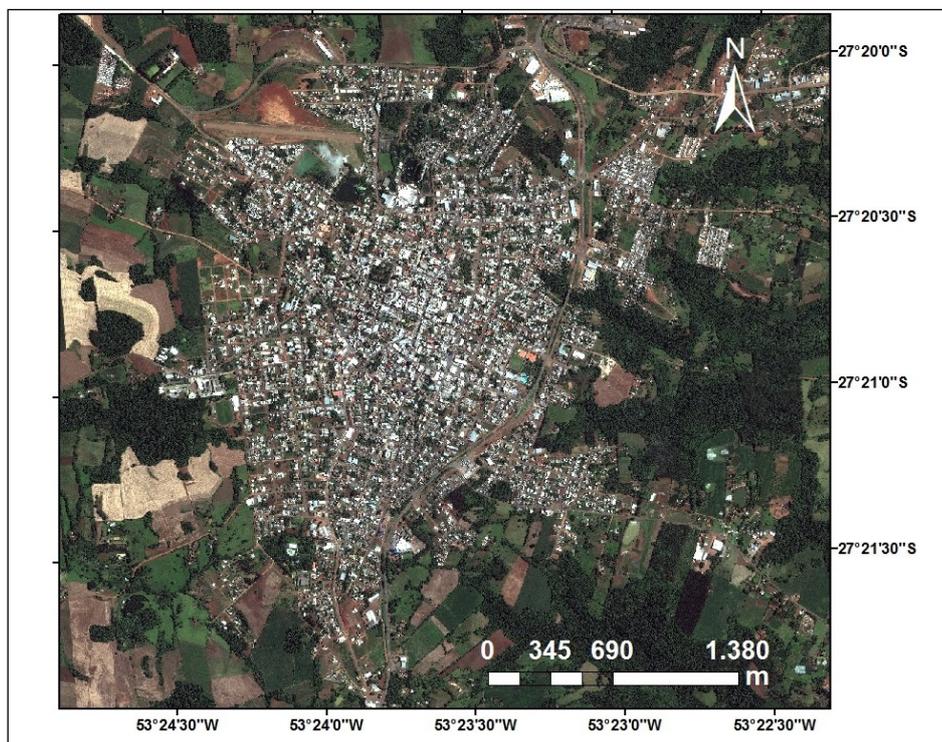
#### Bases cartográficas e imagens utilizados para a elaboração do modelo hidrológico urbano da cidade de Frederico Westphalen – RS.

Fonte: Cena do satélite Worldview-2 do produto multiespectral com B bandas e os produtos combinados (Pansharped), obtida para a data de 26 de junho de 2013.

Base cartográfica	Extensão	Fonte
Mapas cotas topográficas (curvas de nível de metro em metro)	<i>DWG</i>	Prefeitura de Frederico Westphalen
Imagem em alta resolução georreferenciada	<i>TIFF</i>	UFSM (Campus -FW)*
Shapefile Municípios do Rio Grande do Sul	<i>SHP</i>	Site GeoLivre (www.geolivre.rs.gov.br)

### Figura 1

Cena de satélite da área urbana do município de Frederico Westphalen (RS), do produto multiespectral com B bandas obtida pelo Worldview-2, para a data de 26 de junho de 2013.



Para a delimitação das bacias hidrográficas urbanas na interface do WMS foram seguidas as seguintes etapas: 1. Definição do sistema de coordenadas; 2. Geração do Modelo de Elevação Digital (DEM); 3. Determinação de zonas de concentração de fluxo e exutórios; 4. Delimitação automática de bacias hidrográficas; 5. Classificação do tipo do solo; 6. Geração do mapa de uso e ocupação do solo; 7. Computação dos dados de precipitação; e 8. Modelagem e computação de parâmetros hidrodinâmicos das bacias urbanas. A seguir, descrevem-se detalhadamente, cada uma das atividades desenvolvidas.

Por meio da opção *Current Projection* no menu *Edit* do WMS foi definido o sistema de coordenadas geográficas para o qual adotou-se a projeção DATUM, WGS84, Zona 22 S e a unidade padrão de medidas em metros.

Foi gerado o Modelo de Elevação Digital (DEM) a partir do mapa topográfico apresentado em formato DWG (com curvas de nível de metro em metro). O modelo de elevação digital é composto por uma estrutura de dados compostos por coordenadas x, y e dados de elevação (z), caracterizando-se pela interpolação retangular dos dados. Para a geração do DEM, foram realizadas duas conversões: a primeira no módulo *MAP*, foi selecionado o menu *CAD* e, nele, a opção *CAD → TIN*. Na segunda conversão de dados foi utilizado o módulo *Terrain Data*, do menu *TIN*, selecionando-se a opções *Convert* e, na sequência, *TIN → DEM*.

O modelo de elevação de terreno foi utilizado pelo módulo *Drainage* do WMS, permitindo determinar os locais de acúmulo de fluxo, o que gerou um arquivo com extensão *TOPAZ*. As redes de fluxo, representadas por linhas azuis na interface WMS foram utilizadas para definir os exutórios (sete ao todo), localizados, estrategicamente, com intuito de abranger as principais bacias da área urbanizada.

A partir dos exutórios e com apoio do comando *Delineate Basins Wizard* foi realizada a delimitação automática das bacias hidrográficas urbanas. Esse comando está inserido no menu *DEM*.

A base cartográfica do tipo de solo foi realizada por meio da ferramenta ArcMap do software ArcGis 10.1 (ESRI, 2014). Os parâmetros de classificação de solos da área urbana do município foram obtidos na bibliografia disponível, sendo adotado como referência os estudos de solos do município de Frederico Westphalen, realizados pela Embrapa (EMBRAPA, 2011).

Por meio da sobreposição da área urbana com o mapa de bacias hidrográficas (gerado no *WMS*), foi obtida a classe de solo do município de Frederico Westphalen, sendo o mesmo classificado como nitossolo vermelho distroférico (solos profundos típicos das chapadas), neossolo litólico eutrófico (rasos e muito férteis nas bordas dissecadas), luvisolo crômico órtico (em espigões degradados), neossolo litólico eutrófico (nas serras) e cambissolo háplico ta eutroférico (nos vales), associados a outros semelhantes (EMBRAPA, 2011).

Neste estudo, foi realizada uma média ponderada da capacidade de infiltração dos solos do município, baseado na classificação de *Technical Release 55* (USDA, 1986) que dispõem de valores médios de potencial de infiltração para cada categoria hidrológica do solo, sendo  $>7,62$  mm/h nos solos do tipo A, de 3,81 a 7,62 mm/h nos solos do tipo B, de 1,27 a 3,81 mm/h nos solos tipo C e de até 1,27 mm/h nos solos do tipo D.

Adotou-se, então, a média de infiltração de cada grupo hidrológico, atribuindo-se o valor de 5% para Neossolos e 5% para Cambissolos, pela incerteza da percentagem exata da presença de ambos. A partir da metodologia de Sartori (2004) os solos foram enquadrados nos respectivos grupos hidrológicos, sendo o Nitossolo Vermelho do tipo B; o Luvisolo Crômico do tipo D, o Cambissolo do tipo C, e o

Neossolo do tipo D.

A taxa média de infiltração foi estimada a partir da equação (1), de acordo com a classe de solo:

$$C_m = \frac{\sum P_s.C_s}{P} \quad (1)$$

onde:  $C_m$  é o coeficiente de infiltração adotado;  $P_s$  é a percentagem de ocupação do solo;  $C_s$  é o coeficiente de infiltração médio dos solos a serem considerados; e  $P$  é a percentagem total.

Para representar a classe de solo e permitir o reconhecimento dos dados pela interface *WMS*, foi gerado um mapa no formato *Shapefile* com os solos do município, incluindo-se na tabela de atributos do arquivo, uma nova coluna intitulada *HYDGRP* (denominação que permite a leitura do dado pela interface *WMS*). A coluna *HYDGRP* foi preenchida com a letra correspondente à classificação do respectivo solo, podendo ser A, B, C ou D, segundo a classificação proposta pelo Soil Conservation Service – SCS que considera o potencial de escoamento superficial do solo (USDA, 1986), e com base na metodologia proposta por Sartori (2004), que enquadra os solos brasileiros nos respectivos grupos hidrológicos.

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado a partir do método de classificação de imagens supervisionadas por meio de banda de cores, utilizando-se o software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2014). Aplicando a metodologia de Pickbrenner et al. (2005) foram obtidos cinco diferentes categorias temáticas de uso do solo, sendo essas: vegetação arbórea, vegetação rasteira, área urbanizada, solo exposto e corpos hídricos. Essas categorias podem ser assim caracterizadas: 1. Vegetação arbórea: presença de árvores de altura e densidade considerável, onde a água é previamente interceptada pelo corpo da vegetação; 2. Vegetação

rasteira: conjunto de gramíneas e/ou plantas de pequeno porte; 3. Área urbanizada: construções, ruas pavimentadas e calçadas, em sua maioria; 4. Solo exposto: solo totalmente “nu”, desprovido de qualquer tipo de recobrimento vegetal ou construção; e 5. Corpos hídricos: espelho de água como lagoas (açudes) ou corpos hídricos fluviais.

As áreas das bacias foram selecionadas com o auxílio da ferramenta *Extract by Mask* do *ArcToolbox* (ESRI, 2014). A ferramenta *Image Classification* permitiu selecionar imagens com um mesmo padrão de cor para cada um dos tipos de uso dos solos previamente definidos. Uma vez agrupado o padrão de cada classe, com o comando *Interactive Supervised Classification* foi gerado o TIFF correspondente às diferentes categorias de uso do solo. A semelhança do mapa de “tipos de solo”, no *Shapefile* de “usos do solo” também foi alterada a tabela de atributos. Essas alterações tiveram como base a substituição das designações Vegetação arbórea, Vegetação rasteira, Área urbanizada, Solo exposto e Corpos hídricos, pelos códigos equivalentes indicados na “Tabela de Códigos de Classificação do *software WMS*. A nova coluna criada no mapa de uso do solo foi denominada “LUCODE”, e nela foram adicionados os respectivos códigos, correspondentes a cada

## Quadro 2

**Nomenclatura utilizada para classificação de uso do solo nas bacias urbanas de Frederico Westphalen, assim como os códigos numéricos correspondentes na coluna LUCODE.**

Nomenclatura em português	Nomenclatura no WMS	LUCODE
Vegetação arbórea	Mixed Forest Land	43
Vegetação rasteira	Mixed Tundra	85
Área urbanizada	Mixed Urban or Built-up Land	16
Solo exposto	Mixed Barren Land	77
Corpos hídricos	Lakes	52

tipo de uso do solo (Quadro 2).

O mapa com a classificação das diferentes áreas de usos do solo foi convertido para um arquivo de polígonos em formato *Shapefile*, com os usos de solo delimitados pelas áreas das bacias urbanas previamente definidas, por meio do software *ArcGIS 10.1* (ESRI, 2014).

Na sequência, o Modelo Digital de Terreno (DEM), os tipos e usos do solo das bacias urbanas foram importados para a interface WMS, para a execução do modelo hidrológico *HEC-1*.

As bases cartográficas foram selecionadas por meio do módulo *Hydrologic Modeling* (onde o *HEC-1* já está selecionado por padrão), utilizando-se o item *Calculators* no menu e a opção *Compute GIS Attributes*. Uma vez aberta a janela da ferramenta, escolheu-se a opção *SCS Curve Numbers*, utilizando-se o *GIS Layers*. Na sequência foram selecionados os *Shapefiles* correspondentes ao uso do solo e tipo do solo, bem como as colunas das suas respectivas tabelas de atributos que serão lidas pelo *software*. No item *Mapping*, foi adicionada a “Tabela de Códigos de Classificação”, com extensão *TBL*, a qual foi responsável por conectar as informações das tabelas de atributos dos mapas de uso e tipo de solos, com o valor CN correspondente. Após a computação dos “valores CN”, ainda no módulo *Hydrologic Modeling*, foram selecionadas todas as bacias, por meio da ferramenta *Select Basin* e, seguidamente, escolheu-se o menu *HEC-1* → *Edit Parameter*. Na janela, selecionou-se, primeiramente, o botão *Loss Method*, onde escolheu-se a opção *SCS Curve Number (LS)*. O próximo passo foi calcular o *Lag Time (LT)*, por meio da opção *Unit Hydrograph Method* → *Compute Parameters – Basin Data*, onde foi escolhido a opção *SCS Method* no item *Method*, seguido pela equação (2):

$$LT = \frac{L^{0.8} \cdot \left( \left( \left( \frac{100}{CN} \right) - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \quad (2)$$

onde: CN é o valor CN; L é comprimento do rio principal (m) e Y é a declividade da bacia (m).

Os dados de precipitação foram computados no *software WMS*, selecionando-se o procedimento *Precipitation*, seguido pela opção *Basin Average*, onde definiu-se o evento de precipitação de interesse, por meio da ferramenta *XY Series Editor*. O evento de precipitação utilizado neste estudo foi selecionado por meio dos registros de precipitação armazenados pela estação pluviométrica de Frederico Westphalen - RS, localizada nas coordenadas 27°23'43,39" S e 53°25'46,02" O, distante, aproximadamente, 4 km da área urbana do município. Os dados de precipitação foram obtidos no *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). Foram analisados dados de precipitações de Frederico Westphalen registrados nos últimos 3 anos, entre o início de 2014 e o final de 2016. A partir dessa análise selecionou-se o evento ocorrido no dia 5 de outubro de 2016, com um volume de precipitação total de 64,2 mm registrados entre as 19:00 e as 00:00.

Os principais critérios utilizados para escolha desse evento foram a ocorrência de um evento com elevado volume de precipitação em um curto espaço de tempo (considerado "crítico") e a não ocorrência de precipitação prévia ao evento selecionado, visto que o *HEC-1* não considera a umidade prévia do solo. Nesse sentido, utilizou-se o critério indicado por Tucci (1995), sendo considerados solos secos os que receberam precipitação inferior a 15 mm de água ao longo de 5 dias prévios ao evento principal.

Os resultados obtidos foram representados por meio de hidrogramas de escoamento superficial, que consideram o tempo em minutos e a vazão em m<sup>3</sup>/s. O resultado do hidrograma, que representa graficamente a sequência de vazões em um período de tempo, na ordem

cronológica de ocorrência, depende de fatores como relevo, cobertura, duração e distribuição da chuva, entre outros (SARTORI, 2004).

Para efeito de comparação de resultados e simulação de situações hipotéticas, foram alterados valores CN de uma das bacias urbanas, de forma a avaliar a influência da ocupação e do tipo do solo nos hidrogramas de escoamento. Nesse caso, reduziu-se o valor CN dessa bacia ao equivalente de uma área não urbanizada (Rural ou florestal), atribuindo-se 65 como valor de CN. Também, realizou-se uma simulação aumentando o valor CN da mesma bacia, para 98, de forma a representar uma bacia com urbanização mais densa. Os resultados obtidos nas simulações foram comparados com os resultados obtidos nos hidrogramas resultantes das atuais condições do solo.

O tempo do intervalo de computação foi definido para 5 minutos, sendo selecionado como 100 o número de computações (hidrógrafas)

## RESULTADOS

a serem realizados.

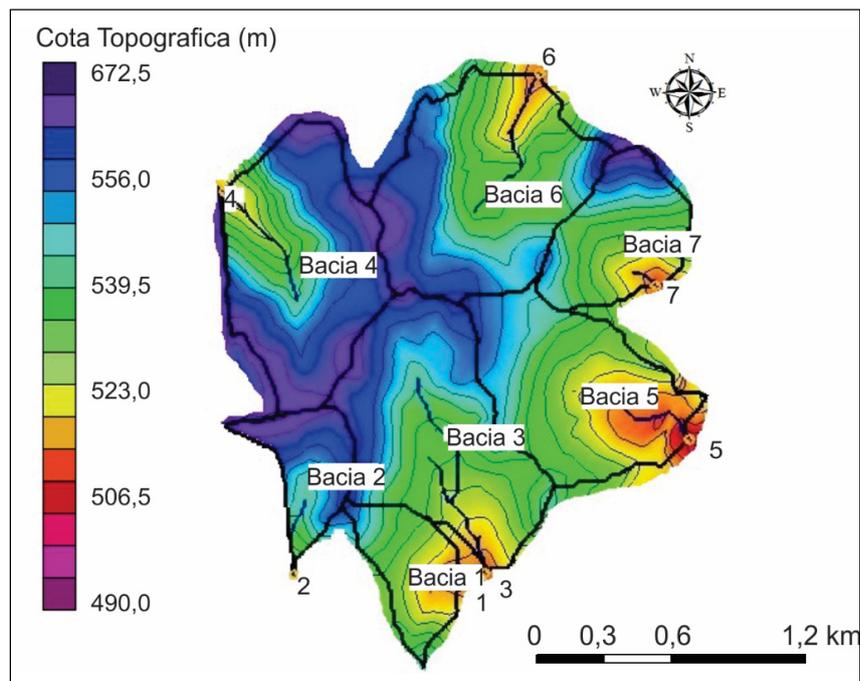
Por meio das bases digitais planialtimétricas foi gerado o Modelo Digital de Terreno da bacia urbana de Frederico Westphalen, com classificação altimétrica dividida em 15 categorias entre 490 e 570 m aproximadamente. As curvas de níveis foram representadas com intervalos de 5,5 metros e a área recortada para representar as bacias urbanas da cidade de Frederico Westphalen (Figura 2), por meio da ferramenta *Trim* no ARCGIS 10.1 (ESRI, 2014).

Observa-se, pela morfologia da área urbana do município que as zonas de maior altimetria situam-se na porção central, fazendo com que os divisores de bacias apresentem configuração de drenagem do centro na direção dos limites da área urbana, situando-se todos os

exutórios ao longo do perímetro urbano. Essa configuração favorece um escoamento com tendência a sair da área urbana, concentrado

**Figura 2**

**Modelo digital de elevação (DEM) e delimitação das sete bacias hidrográficas urbanas do município de Frederico Westphalen – RS.**



em linhas de drenagem bem definidas.

Para fins de modelagem hidrológica, foram delimitadas 7 microbacias urbanas centralizadas em relação ao perímetro urbano, com área total de 3,123 km<sup>2</sup> que se caracteriza por ser a zona mais urbanizada do município. A cada microbacia lhe foi atribuído um número de identificação e calculadas as suas características morfológicas principais (Tabela 1).

Analisando as características geomorfológicas se observa que a bacia com menor área é a Bacia 2 (0,171 km<sup>2</sup>), enquanto a de maior área foi a Bacia 6 (0,682 km<sup>2</sup>). As bacias com maior e menor drenagem foram as Bacias 3 (1412,9 m<sup>2</sup>) e 7 (737,9 m<sup>2</sup>), respectivamente. Quanto à declividade, as Bacia 7 e 4 demonstraram possuir maior declividade média (próximas à 10 %) e a Bacia 5 apresentou o menor declividade

**Tabela 1****Características físicas das bacias hidrográficas da zona urbana do município de Frederico Westphalen.**

Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Declividade (m/m)	Comprimento da bacia (m)	Comprimento da drenagem (m)
1	0,185	2527	0,083	616,4	808,9
2	0,171	2539	0,092	736,3	872,9
3	0,644	4526	0,081	1254,2	1412,9
4	0,610	4125	0,101	1015,4	1160,9
5	0,532	4081	0,071	1139,4	1326,7
6	0,682	4351	0,086	1122,9	1324,8
7	0,295	2729	0,101	600,5	737,9

média (próximo à 7 %).

O solo da área urbana de Frederico Westphalen foi enquadrado na categoria C, o que resultou em um potencial de infiltração de 3,27 mm/h, que também está de acordo com as características de solos urbanos, que são enquadrados na categoria C por apresentarem elevado grau de impermeabilização (PICKBRENNER et al., 2005).

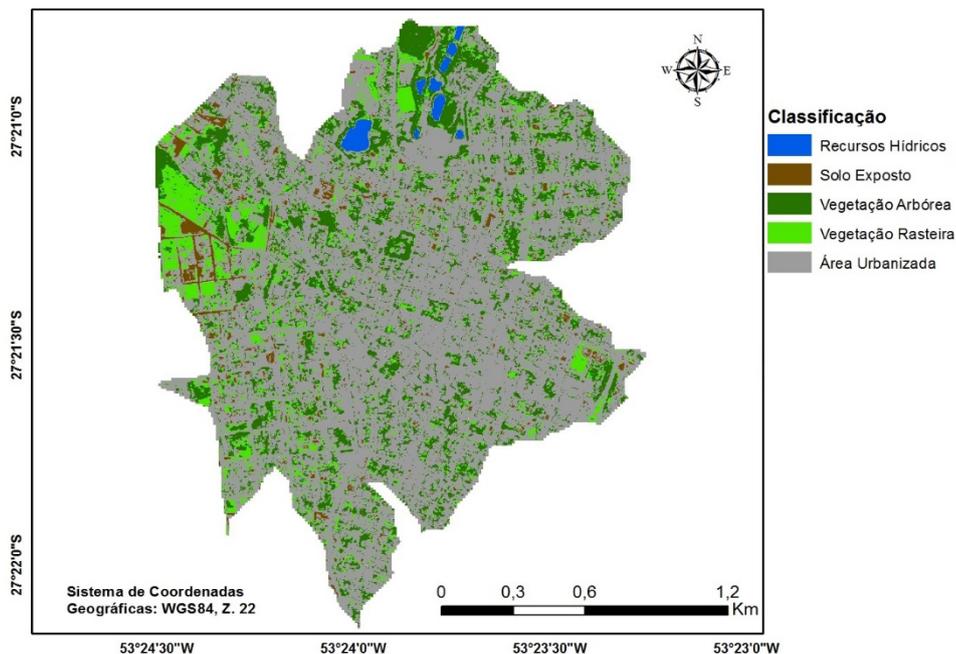
O solo do “tipo C” compreende os solos com baixa taxa de infiltração quando completamente saturados, principalmente com camadas que dificultam a infiltração e o movimento da água subterrânea. Esses solos apresentam textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração (USDA, 1986), como é o caso dos solos da área de estudo. Na tabela de atributos do mapa dos tipos de solos da área urbana de Frederico Westphalen, adicionou-se a letra “C” no campo “HYDGRP” (Figura 3).

Em relação ao uso do solo, a área classificada como Área Urbana, totaliza 2,123 km<sup>2</sup> (68,0 % do total). Logo em seguida, encontram-se as áreas com Vegetação Arbórea, com 0,574 km<sup>2</sup> (18,3 %) e as áreas com Vegetação Rasteira, que ocupam 0,31 km<sup>2</sup> (9,9 %). O Solo Exposto

está presente em  $0,089 \text{ km}^2$  (2,9 %) e os restantes  $0,027 \text{ km}^2$  (0,9 %) correspondem aos corpos hídricos (lagoas, açudes e cursos de água)

**Figura 3**

**Uso e ocupação do solo das microbacias urbanas do município de Frederico Westphalen.**



que estão visíveis nas imagens analisadas.

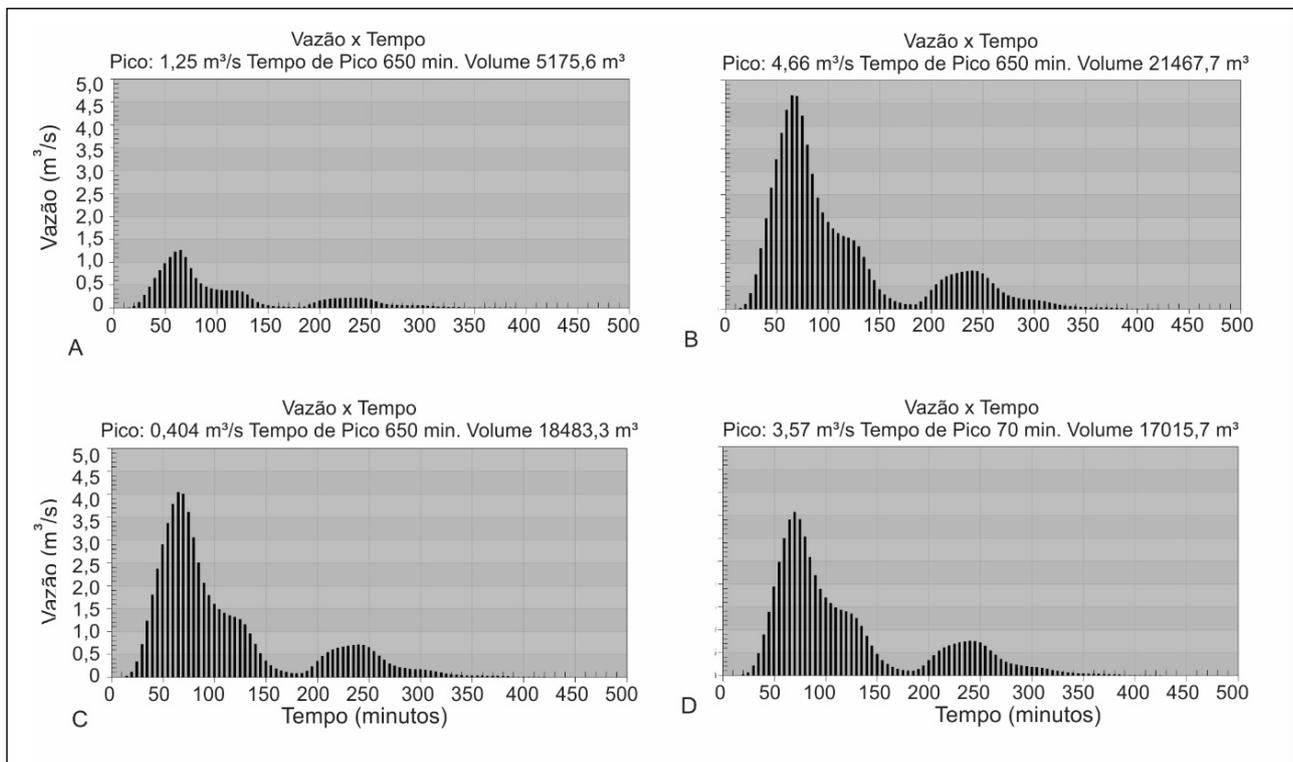
A partir dos mapas de classificação do solo e de uso do solo, foram definidos os valores CN equivalentes, para cada uma das 7 bacias estudadas. Os resultados indicam CN médio de 85,7 para Bacia 1, 84,8 para a Bacia 2, 86,7 para a Bacia 3, 83,7 para a Bacia 4, 87,4 para a Bacia 5, 81,4 para a Bacia 6 e 85,9 para a Bacia 7. Esses valores de CN assemelham-se com os de Pickbrenner et al. (2005), que realizaram um estudo na Bacia do Rio Criciúma-SC, em área urbana, determinando valores de CN compreendidos entre 80,2 e 92,4.

O *Lag Time* computado pelo *software HEC-1* da interface WMS foi de 0,18h na Bacia 1, 0,21h na Bacia 2, 0,30h na Bacia 3, 0,26h na Bacia 4, 0,30h na Bacia 5, 0,33h na Bacia 6 e 0,17h na Bacia 7. Devido às características das bacias observam-se diferenças consideráveis

entre as Bacias 2 (a menor microbacia, com  $0,17 \text{ km}^2$ ) (Figura 4.A) e a Bacia 3 (com  $0,64 \text{ km}^2$  que é a microbacia com maior escoamento) (Figura 4.B). Também foram observadas diferenças significativas no escoamento superficial em função do CN, principalmente entre a Bacia 5 (microbacia com maior CN) (Figura 4.C) e a Bacia 6 (microbacia com

**Figura 4**

**Hidrograma referente ao escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas após evento de precipitação de 64,2 mm, ocorrido em 5 de outubro de 2016, entre as 19:00h e as 00:00h. A Bacia 2. B. Bacia 3. C. Bacia 5. D. Bacia 6.**



menor CN) (Figura 4.D).

Uma vez computado o volume precipitado e o escoamento para cada uma das bacias urbana, foi determinado o respectivo coeficiente de escoamento, sendo obtido o menor coeficiente ( $C= 0,38$ ) na Bacia 6 e o maior coeficiente ( $C= 0,54$ ) na Bacia 5. Essas bacias são as que obtiveram o menor e o maior valor de CN computados na área urbana, respectivamente. Isso demonstra a influência do uso do solo

quanto ao potencial de escoamento superficial que tende a aumentar com o aumento da impermeabilização do terreno (representado

### Quadro 3 Coeficiente de escoamento superficial (C) em função do uso do solo em áreas urbanizadas.

Fonte: WILKEN (1978, apud TOMAZ, 2002)

Zonas	Valor C
<b>Edificação muito densa:</b> partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
<b>Edificação não muito densa:</b> partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
<b>Edificações com poucas superfícies livres:</b> pares residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
<b>Edificações com muitas superfícies livres:</b> partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
<b>Subúrbios com alguma habitação:</b> partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
<b>Matas, parques e campos de esportes:</b> partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

pelo aumento na densidade de edificações) (Quadro 3).

Os coeficientes de escoamento obtidos para as microbacias urbanas da cidade de Frederico Westphalen são característicos de zonas com “Edificações com poucas superfícies livres”, segundo valores obtidos por WILKEN (1978, apud TOMAZ, 2002). É possível que ocorra alguma divergência entre os coeficientes encontrados e os indicados na Tabela 1, pois Coeficiente de escoamento superficial é aplicado em casos de eventos intensos (de curta duração, geralmente em torno de uma hora, e com elevado índice de precipitação) e o evento selecionado neste estudo teve duração de 5 horas, com maior intensidade

na primeira hora.

Outro fator de relevância é o comportamento das máximas do hidrograma, nota-se que todos os hidrogramas apresentam forma semelhante, com um pico de elevada vazão (entre 60 e 70 minutos) e escoamento acentuado ao final do hidrograma. Isso deve-se ao fato de todas as bacias terem sua maior área como impermeável, ou seja, a água a ser escoada responderá semelhantemente à curva da chuva, aumentando o índice de escoamento e rapidamente atingindo o pico de vazão, tendo a resposta oposta (reduzindo o índice de vazão) em simultâneo com a redução da precipitação. A precipitação mais intensa gera escoamento mais rapidamente pelo fato do solo atingir seu nível de saturação em menos tempo (CARVALHO, 2006).

O tempo de escoamento registrado em cada microbacia foi outra variável analisada. Comparando os hidrogramas, observam-se diferenças entre o tempo de escoamento da Bacia 2 e o de outras microbacias, que tem maior área de drenagem. Quanto menor o tamanho da bacia, menor o tempo de escoamento, o que ocorre devido à variação do tempo de concentração, que está relacionado com a morfologia das bacias.

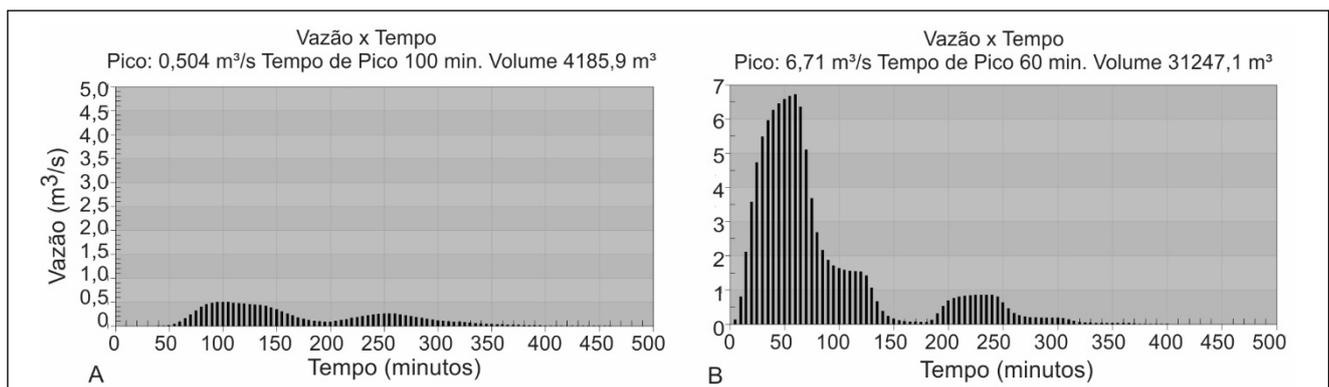
Para simular o efeito da alteração do uso do solo no escoamento, foram realizadas duas simulações na Bacia 5, modificando-se (para menos e para mais) o valor do CN. As modificações na cobertura do solo (representadas pelo CN) têm elevado impacto na geração do escoamento superficial da bacia. Quando a cobertura do solo é modificada com o plantio de árvores ou de vegetação rasteira (CN=65), pode postergar o pico de cheia em 35 min. e, ao invés de ocorrer com 65 min. como é com a cobertura do solo atual, ocorre em 100 min. (Figura 5A). O efeito da retenção das águas pluviais no solo posterga, em 35%, o tempo de resposta à precipitação, em relação ao tempo obtido com a cobertura de solo atual. Também, o efeito se observa nos volumes

escoados, que reduzem em função do aumento da capacidade de infiltração do solo, tornando os picos de cheia menores e mais alongados, devido ao aumento das áreas permeáveis.

Quanto a modificação da cobertura do solo projeta uma área plenamente urbanizada (CN=98), o tempo ocorrido desde o início da precipitação até o pico de cheia, é ligeiramente antecipado em relação à situação atual da microbacia, que já apresenta elevada taxa de impermeabilização, porém, o volume escoado é consideravelmente maior, atingindo valores de coeficiente de escoamento superficial próximos à 0,91. Esses valores remetem a uma área com elevada impermeabilização do solo (altamente urbanizada), onde o potencial de infiltração

**Figura 5**

**Hidrograma referente ao escoamento superficial da Bacia 5 após evento de precipitação ocorrido no dia 5 de outubro de 2016, total precipitado de 64,2 mm, registrados entre as 19:00h e as 00:00h. A. Simulação do uso do solo da bacia modificado com plantio de árvores ou de vegetação rasteira (CN=65) B. Simulação do uso do solo da bacia modificado com características de urbanização plena (CN=98).**



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

é quase nulo (Figura 5B).

A utilização da interface Watershed Modeling System, mostrou-se eficiente para a determinação de parâmetros hidrodinâmicos das

microbacias hidrográficas urbanas estudadas. A delimitação automática das bacias hidrográficas apresentou precisão, compatível com a escala de dados planialtimétricos utilizados na elaboração do Modelo Digital do terreno. O mapeamento de dados de uso e ocupação do solo, por meio do software ArcGIS 10.1, mostrou precisão para áreas menores, na identificação das classes urbana de vegetação arbórea, vegetação rasteira, área urbanizada e solo exposto. A imagem em alta resolução permitiu o detalhamento quanto à distinção das classes, quando comparada com outras imagens de satélites como as do Google Earth, por exemplo.

Por outro lado, observaram-se deficiências quanto à espacialização dos tipos de solos na área urbana, o que dificultou o enquadramento num determinado grupo hidrológico, e levou à utilização da média dos parâmetros assignados para os tipos de solos existentes, os resultados podem apresentar discrepâncias em relação ao que efetivamente ocorre numa determinada zona.

O escoamento superficial, calculado por meio da interação entre os dados de precipitação e a cartografia de superfície (forma da bacia, uso do solo e tipo de solo) indicou diferenças significativas entre as microbacias estudadas. Os fatores de morfologia e uso do solo tiveram participação importante nas diferenças de escoamento. A Bacia 6 apresentou o menor coeficiente de escoamento, com presença de muitas superfícies livres e algumas edificações, Com áreas semelhantes, ambas as bacias também apresentaram tempos de escoamento semelhantes, entre 18 e 20 minutos. A principal diferença, entretanto, ocorre no volume escoado que tende a aumentar com o aumento da impermeabilização do terreno.

O coeficiente de escoamento das microbacias urbanas da cidade de Frederico Westphalen são, em geral, característicos de zonas

com edificações e poucas superfícies livres. Entretanto, quando a cobertura de solo é modificada por áreas verdes (árvores ou vegetação rasteira) pode postergar o pico de cheia em até 35%, reduzindo em 77% a vazão pelo aumento da capacidade de infiltração do solo. Por outro lado, a urbanização plena (impermeabilização da cobertura do solo) antecipa ligeiramente o pico de cheia (na Bacia 5, que já é urbanizada) mas aumenta em 69% o volume escoado.

A calibração do modelo hidrológico HEC-1, por meio da interface Watershed Modeling System, mostrou-se eficiente na determinação dos diferentes parâmetros hidrodinâmicos das microbacias urbanas, assim como possibilitou a simulação de diferentes cenários e os seus efeitos no escoamento superficial da bacia. Estas simulações se constituem importantes ferramentas de apoio para o planejamento de ações pre-

## REFERÊNCIAS

ventivas de inundações em área críticas.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Rede Hidrometeorológica Nacional**. Brasília, 2019. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/monitoramento/sala-de-situacao/rede-hidrometeorologica-nacional-1>>. Acesso em: 22 março de 2020.

AQUAVEO. GSDA: **DEM**. Disponível em: <[http://www.xmswiki.com/wiki/GSDA:DEM#DEM\\_Tips](http://www.xmswiki.com/wiki/GSDA:DEM#DEM_Tips)>. Acesso em 22 de maio de 2017.

AZEREDO, A. da C. **identificação de áreas susceptíveis a alagamentos na zona urbana de Frederico Westphalen – RS**. 2021. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2021.

BERTANI, G.; BREUNIG, F.M.; SPOHR, R.B. Análise de crescimento da mancha urbana do município de Frederico Westphalen, RS-Brasil através de imagens LANDSAT 5 TM. **Revista Geografar**, v. 7, n. 1, 2012.

CARVALHO, D.F. **Apostila de Hidrologia**. UFRJ, Rio de Janeiro. Agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap-7-ES.pdf>>. Acesso em 15 de novembro de 2016.

DANIEL, E.B. **Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review**. The Open Hydrology Journal, 2011.

EMBRAPA. Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS. **Circular Técnica 116**. ISSN 1516-8832. 2011. 32p.

ESRI. **ArcGIS Desktop** 10.1. Redlands, 2014.  
IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico IBGE**, 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 de maio de 2021.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações e dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em 10 de maio de 2021.

PICKBRENNER, K. et al. **Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 16, 2005.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hi-**

**drológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UNICAMP, São Carlos, São Paulo, 2004.

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais: Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais. Métodos SCS, Denver, Santa Barbara, Racional, TR-55.** São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI C. E.M.; PORTO R.L.; BARROS M.T.; **Drenagem Urbana**. 1ª Edição. Porto Alegre, 1995.

USDA. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Fábio Breunig, por ceder a imagem de satélite do World-view-2, adquirida no âmbito do Projeto Universal CNPq nº478085/2013-3 e do Processo nº 2013/03908-3 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

# Método de Thomas e método da diferença de logaritmos em estimativas para o coeficiente de desoxigenação

Mariza de Camargo (\*), Patricia Rodrigues Fortes, Raphael Corrêa Medeiros,  
Patricia Carla Zachi

\* Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen - RS,  
mariza@ufsm.br

## RESUMO

Existem processos matemáticos e estatísticos voltados à determinação do coeficiente de desoxigenação de amostras de água ou mesmo de efluentes, e inicialmente tais estimativas partem de dados de análises laboratoriais da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), exercida durante um certo período de dias. Esta taxa de desoxigenação refere-se à velocidade com que o oxigênio é utilizado para degradar a matéria orgânica presente em um efluente, sendo utilizada na modelagem de autodepuração de recursos hídricos, que é um processo natural que ocorre após o lançamento de efluentes em cursos de água. Neste trabalho foram detalhados dois métodos matemáticos que propõem distintas formas para se estimar o coeficiente de desoxigenação, Método de Thomas e Método da Diferença de Logaritmos, juntamente com o detalhamento das equações decorrentes da aplicação destes dois referidos métodos.

**Palavras-chave:** *Coeficiente de Desoxigenação, Método de Thomas, Método da Diferença de Logaritmos.*

## ABSTRACT

There are mathematical and statistical processes aimed at determining the coefficient of deoxygenation of water samples or even effluents. Initially, these estimations come from laboratory data as in Biochemical Oxygen Demand (BOD), exerted during a given time, in days. This deoxygenation rate refers to the velocity in which oxygen is used to degrade organic matter contained in an effluent. It is applied in modeling of water resources self-depuration, which is a natural process that occurs after wastewater is disposed into water bodies. In this study, two mathematical methods that propose different means of estimating the coefficient of deoxygenation were detailed: the Thomas method and the Difference of Logarithms method. Additionally, this work gives detailing of the equations derived from applying both referred methods.

**Key words:** *Deoxygenation Coefficient, Thomas Method, Difference of Logarithms Method.*

## INTRODUÇÃO

A modelagem matemática é uma área de estudos, ligada à Matemática, que investiga a simulação de sistemas reais a fim de prever comportamentos (BASSANEZI, 2015). Caracteriza-se portanto como uma ferramenta metodológica usada para descrever matematicamente um fenômeno, e é amplamente usada em vários campos de estudo (BARBOSA, 2009), por exemplo, na química, biologia, física, ciências da saúde, ciências agrárias, ciências sociais aplicadas, engenharias. Em especial, no âmbito da engenharia ambiental, a modelagem matemática, dentre outros fins tem sido empregada na predição de futuros impactos decorrentes do despejo de efluentes em fontes hídricas, sendo que o modelo matemático proposto por Streeter e Phelps (criado em 1925) permanece sendo o mais conhecido e utilizado na gestão de recursos hídricos, com interface no processo de licenciamento ambiental, outorga para uso da água, avaliação de impactos ambientais e perícia ambiental (MENEZES; OLIVEIRA; SALLA, 2016). Este referido modelo, descrito em termos de uma equação diferencial ordinária linear de primeira ordem, necessita, dentre outras variáveis de entrada, do denominado coeficiente de desoxigenação ( $k$ ) o qual retrata a velocidade de degradação do material orgânico e é dependente das características do efluente, da temperatura, da presença de substâncias inibidoras, etc. (VON SPERLING, 2014a).

Assim, quer-se neste trabalho apontar diferentes formas de se chegar a expressões matemáticas para estimar o coeficiente  $k$  valendo-se de métodos matemáticos associados a resultados de análises laboratoriais. Em especial, os métodos a serem abordados na realização deste trabalho são: Método de Thomas e o Método da Diferença de Logaritmos (VON SPERLING, 1985). Conseqüentemente, uma vez bem avaliado o coeficiente de desoxigenação pode-se então chegar a um bom ajuste

do modelo matemático de Streeter e Phelps para avaliação de dados de qualidade da água.

## MÉTODOS MATEMÁTICOS PARA OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO

A poluição orgânica em fontes hídricas causa um nocivo efeito ambiental, acarretando a diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água. A denominada Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO corresponde à quantidade de oxigênio consumido por microrganismos durante o processo de oxidação da matéria orgânica biodegradável sob presença de oxigênio em meio aquático. Desta forma, a DBO é entendida como uma unidade de medida que avalia a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) em miligramas (mg), equivalente a quantidade que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica presente na água. Assim, a DBO, que também apresenta conceitos de DBO remanescente e DBO exercida, é considerada um importante parâmetro para estimar a carga orgânica dos efluentes (quanto menor o nível de DBO, menos poluente é considerado o efluente) e dos recursos hídricos.

Segundo Von Sperling (2014a), a cinética da reação da matéria orgânica remanescente (DBO remanescente) pode ser modelada matematicamente segundo uma reação de primeira ordem, sendo que a taxa de mudança da concentração de uma substância é proporcional à primeira potência da concentração. Foi com base neste entendimento que Streeter e Phelps (VON SPERLING, 2014a) propuseram, em 1925, um modelo matemático referente a progressão da DBO remanescente,

dado pela seguinte equação diferencial ordinária de primeira ordem linear:

$$\frac{dL}{dt} = -kL \quad (1)$$

em que  $L = L(t)$  é a concentração de DBO remanescente (mg/L),  $t$  é o tempo (dia) e  $k$  é o coeficiente de desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ ). Este modelo apresenta condição inicial:

$$L(0) = L_0 \quad (2)$$

sendo  $L_0$  a concentração inicial de matéria orgânica, ou seja, é o valor da DBO no sistema antes de se iniciar a oxidação.

E é justamente a determinação do coeficiente  $k$  o foco de desenvolvimento deste trabalho. Existem vários métodos gráficos e analíticos para determinação do coeficiente de desoxigenação, sendo que todos eles dependem da DBO exercida durante vários dias nas amostras coletadas. Os métodos mais conhecidos são: Método dos Mínimos Quadrados; Método da Inclinação; Método dos Momentos; Método de Thomas; Método da Diferença de Logaritmos (VON SPERLING, 2014b). Neste texto serão explanados os detalhamentos matemáticos para obtenção das equações de estimativa do coeficiente  $k$  pelo Método de Thomas e também pelo Método da Diferença de Logaritmos.

Trabalhando na resolução da equação diferencial ordinária de primeira ordem (1), pode-se aplicar o método de separação de variáveis e então promover a integração de ambos os lados da equação:

$$\int \frac{dL}{L} = -k \int dt \quad (3)$$

e assim, resolvendo as integrais obtém-se

$$\ln(L) = -kt + C_1. \quad (4)$$

Uma vez que o objetivo em resolver a equação diferencial ordinária (1) é conhecer uma expressão para a concentração da matéria orgânica remanescente  $L(t)$ , sendo  $e = 2,718281828\dots$  escreve-se:

$$e^{\ln(L)} = e^{-kt+C_1} \quad (5)$$

e assim:

$$L = C_2 e^{-kt}. \quad (6)$$

Usando a condição inicial estabelecida para o problema tem-se a partir da equação (6) a determinação da constante  $C_2$ , ou seja:

$$C_2 = L_0 \quad (7)$$

e desta forma fica definida a equação para a DBO remanescente considerando o uso da base  $e$  após a equação (4):

$$L = L_0 e^{-kt} \quad (8)$$

Se de ambos os lados da equação (4) fosse adotada a base 10 então a equação para a DBO remanescente ficaria escrita na forma:

$$10^{\ln(L)} = 10^{-kt+C_1} \quad (9)$$

ou

$$10^{\ln(L)} = C_2 10^{-kt} \quad (10)$$

Mas pelo fato de que:

$$\ln(L) = \log_e(L) = \frac{\log(L)}{\log(e)} = \frac{1}{\log(e)} \log(L) = 2,30 \log(L) = \log(L)^{2,30} \quad (11)$$

pode-se portanto escrever a equação (10) como sendo:

$$10^{\log(L)^{2,30}} = C_2 10^{-kt} \quad (12)$$

ou então

$$L^{2,30} = C_2 10^{-kt}. \quad (13)$$

Ao elevar ambos os lados da equação (13) ao expoente  $\frac{1}{2,30}$  obtém-se:

$$L = C_3 10^{-\frac{k}{2,30}t} \quad (14)$$

onde  $c_3 = (C_2)^{\frac{1}{2,30}}$ . Assim, ao aplicar a condição inicial dada pela equação (2) na equação (14) obtém-se  $C_3 = L_0$  e desta forma a equação (14) passa a ser escrita na forma

$$L = L_0 10^{-\frac{k}{2,30}t}. \quad (15)$$

Depois de obtida uma expressão para  $L = L(t)$  adota-se uma hipótese (VON SPERLING, 2014b) que considera que a quantidade de DBO exercida ( $y$ ) mais a quantidade da DBO remanescente ( $L$ ) no sistema a qualquer tempo  $t$  é igual à quantidade de matéria orgânica inicial ( $L_0$ ). Equacionando esta hipótese, pode-se escrever:

$$y + L = L_0 \quad (16)$$

ou então

$$y = L_0 - L \quad (17)$$

onde  $y = y(t)$  é a DBO exercida a qualquer tempo. Assim, considerando a equação (8) pode-se reescrever a equação (17) como

$$y = L_0(1 - e^{-kt}) \quad (18)$$

ou então, considerando a equação (15) pode-se reescrever a equação (17) como sendo

$$y = L_0(1 - 10^{-\frac{k}{2,30}t}) \quad (19)$$

Estas equações expressam o modelo matemático da curva de DBO exercida, e em ambas as expressões faz-se necessário informar o valor para o coeficiente de desoxigenação  $k$ . Na sequência deste trabalho são detalhadas duas maneiras diferentes de se estimar o coeficiente  $k$ : Método de Thomas e também Método da Diferença de Logaritmos.

## MÉTODO DE THOMAS

O Método de Thomas, ou também chamado de Método Gráfico de Thomas, foi desenvolvido por Metcalf e Eddy, em 1981 (VON SPERLING, 2014b). Esse método basicamente utiliza uma equação linear, obtida por regressão linear a partir de valores analisados de DBO de amostras submetidas a diferentes dias de incubação, sendo que os coeficientes

(linear e angular) desta referida equação é que estabelecem relações que viabilizam formas de se estimar o coeficiente de desoxigenação  $k$ .

Para determinar como são estas relações especificamente propostas pelo método de Thomas, parte-se do modelo matemático de Streeter-Phelps (VON SPERLING, 2014b), escolhida neste trabalho a equação (19), observando que o termo exponencial  $f(t) = 10^{-\frac{k}{2,30}t}$  pode ser desenvolvido segundo uma série de Maclaurin.

**Definição:** Se a função  $f$  possuir derivadas de todas as ordens em  $x_0 = 0$ , então:

$$\sum_{j=0}^{\infty} \frac{f^{(j)}(0)}{j!} x^j = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)}{2!} x^2 + \dots + \frac{f^{(j)}(0)}{j!} x^j + \dots \quad (20)$$

é uma série de Maclaurin para  $f$ .

Para considerar a definição acima em uma nova forma de reescrever a equação (19) serão necessárias avaliações de  $f(t)$  e de suas derivadas, em  $t = 0$ , lembrando que  $\ln(10) = 2,302585 \dots$  sendo assim serão efetuadas algumas simplificações.

$$f(0) = 10^{-\frac{k}{2,30}(0)} = 10^0 = 1 \quad \Rightarrow \quad f(0) = 1 \quad (21)$$

$$f'(t) = \ln 10 \left(-\frac{k}{2,30}\right) 10^{-\frac{k}{2,30}t} = -k 10^{-\frac{k}{2,30}t} \quad \Rightarrow \quad f'(0) = -k \quad (22)$$

$$f''(t) = (\ln 10)^2 \left(-\frac{k}{2,30}\right)^2 10^{-\frac{k}{2,30}t} = k^2 10^{-\frac{k}{2,30}t} \quad \Rightarrow \quad f''(0) = k^2 \quad (23)$$

$$f'''(t) = (\ln 10)^3 \left(-\frac{k}{2,30}\right)^3 10^{-\frac{k}{2,30}t} = -k^3 10^{-\frac{k}{2,30}t} \quad \Rightarrow \quad f'''(0) = -k^3 \quad (24)$$

Portanto, sendo  $f(t) = 10^{-\frac{k}{2,30}t}$  expandida tal como uma série de Maclaurin, tem-se:

$$f(t) = 1 - kt + \frac{1}{2}k^2t^2 - \frac{1}{6}k^3t^3 + \frac{1}{24}k^4t^4 - \dots \quad (25)$$

Então, substituindo a nova expressão para  $f(t)$  na equação (19) tem-se:

$$y = L_0 \left[ 1 - \left( 1 - kt + \frac{1}{2}k^2t^2 - \frac{1}{6}k^3t^3 + \frac{1}{24}k^4t^4 - \dots \right) \right] \quad (26)$$

ou então

$$y = L_0 kt \left[ 1 - \frac{1}{2}kt + \frac{1}{6}k^2t^2 - \frac{1}{24}k^3t^3 \dots \right] \quad (27)$$

Esta mesma equação (27) pode ser reescrita na forma:

$$y = L_0 kt \left[ 1 - \frac{1}{2}kt + \frac{6}{36}k^2t^2 - \dots \right], \quad (28)$$

ou

$$y = L_0 kt \left[ 1 - \frac{1}{2}kt + \frac{12}{2} \frac{k^2t^2}{36} - \dots \right], \quad (29)$$

ou ainda

$$y = L_0 kt \left[ 1 - 3 \frac{kt}{6} + \frac{(-3)(-4)}{2!} \left( \frac{kt}{6} \right)^2 - \dots \right]. \quad (30)$$

Seja agora considerada a definição de uma série binomial:

**Definição:** Se  $m$  for um número real, então a série de Maclaurin para  $(1+x)^m$  é denominada série binomial, e é dada por:

$$1 + mx + \frac{m(m-1)}{2!}x^2 + \frac{m(m-1)(m-2)}{3!}x^3 + \dots + \frac{m(m-1)\dots(m-j+1)}{j!}x^j + \dots \quad (31)$$

Então, reescrevendo a expressão do termo entre colchetes da equação

(30) considerando  $m = -3$  e  $x = \frac{kt}{6}$  tal como em uma série binomial, admite-se:

$$y = L_0 kt \left(1 + \frac{kt}{6}\right)^{-3}. \quad (32)$$

Contudo, esta aproximação só é aceitável até o terceiro termo, pois tinha-se:

$$1 - \frac{1}{2}kt + \frac{1}{6}k^2t^2 - \frac{1}{24}k^3t^3 + \dots \quad (33)$$

$$\left(1 + \frac{kt}{6}\right)^{-3} = 1 - \frac{1}{2}kt + \frac{1}{6}k^2t^2 - \frac{10}{216}k^3t^3 + \dots. \quad (34)$$

Mas sendo que o valor de  $k$  é pequeno, pode-se desprezar os demais termos (de potências altas) e passar a escrever a equação (30) na forma dada pela equação (32).

Seguindo, passa-se agora a escrever a equação (32) como

$$\left(1 + \frac{kt}{6}\right)^3 = \frac{L_0 kt}{y} \quad (35)$$

e extraíndo a raiz cúbica dos dois lados da equação anterior, tem-se:

$$1 + \frac{kt}{6} = L_0^{\frac{1}{3}} k^{\frac{1}{3}} \left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}}. \quad (36)$$

Assim, isolando o termo  $\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}}$  obtém-se:

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}} = L_0^{-\frac{1}{3}} k^{-\frac{1}{3}} + \frac{L_0^{-\frac{1}{3}} k^{\frac{2}{3}}}{6} t \quad (37)$$

Agora, promovendo uma troca de variáveis:

$$\gamma = \left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (38)$$

$$a = \frac{L_0^{-\frac{1}{3}} k^{\frac{2}{3}}}{6} \quad (39)$$

e ainda

$$b = L_0^{-\frac{1}{3}} k^{-\frac{1}{3}} \quad (40)$$

chega-se a uma expressão linear:

$$\gamma = b + at \quad (41)$$

Elabora-se então um gráfico considerando  $\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}} \times t$ , em que a reta de melhor ajuste é obtida através de regressão linear a partir do método dos mínimos quadrados (MENESES, 2006), obtendo assim os coeficientes  $a$  e  $b$  da equação (41). Conhecidos os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  (obtidos via equação de regressão linear) e isolando  $L_0^{-1/3}$  na equação (40):

$$L_0^{-\frac{1}{3}} = b k^{\frac{1}{3}} \quad (42)$$

e efetuando a substituição de  $L_0^{-1/3}$  na equação (39) obtém-se:

$$a = \frac{b k^{\frac{1}{3}} k^{\frac{2}{3}} t}{6} \Rightarrow a = \frac{b k}{6}. \quad (43)$$

E assim, isolando  $k$  na equação anterior tem-se:

$$k = \frac{6a}{b}. \quad (44)$$

E uma vez conhecida a expressão para o coeficiente de desoxigenação, por substituição de  $k$  na equação (42), determina-se  $L_0$  como sendo

$$L_0^{-\frac{1}{3}} = b \left( \frac{6a}{b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (45)$$

ou seja:

$$L_0 = \frac{1}{6ab^2}. \quad (46)$$

Portanto, através da aplicação do Método de Thomas, fica estabelecida uma expressão para a estimativa do coeficiente de desoxigenação  $k$  (equação 44) e também para o parâmetro  $L_0$  que é denominado DBO total, ou final, ou última, ou DBO de primeiro estágio (equação 46), ambos determinados a partir dos coeficientes  $a$  e  $b$  da reta de regressão.

Resumidamente, para efetiva aplicação do método de Thomas na estimativa do coeficiente de desoxigenação  $k$  elabora-se um gráfico de pontos discretos,  $P(t, y)$  cuja abscissa de cada ponto corresponde ao tempo (neste caso em dias) de leitura da DBO (por exemplo,  $t = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ , que corresponde a um período de 5 dias de análise da DBO) e cuja ordenada dos pontos é dada por  $\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}}$ , sendo que o valor  $y$  (em mg/L) é dado (resultados laboratoriais) em termos da DBO exercida no correspondente tempo  $t$ . A partir da obtenção destes cinco pontos pode-se então utilizar o *software* Excel para estabelecer uma regressão linear  $y$

$= b + at$  (vale lembrar que o software Excel estabelece a expressão linear calculando intrinsecamente os coeficientes  $a$  e  $b$  através da aplicação do método de Mínimos Quadrados) uma vez que pelo Método de Thomas o valor estimado para o coeficiente de desoxigenação  $k$  (equação 44) depende do coeficiente angular ( $a$ ) e do coeficiente linear ( $b$ ) desta respectiva reta de regressão.

## MÉTODO DA DIFERENÇA DE LOGARITMOS

De acordo com Von Sperling (2014b), o Método da Diferença de Logaritmos foi desenvolvido por Fair, em 1936. E tal como na proposta do método de Thomas, este outro método de estimativa do coeficiente de desoxigenação  $k$  também se baseia na equação de quantificação da DBO exercida, desenvolvida por Streeter e Phelps (MENESES, 2006). Assim, partindo da equação (19) e calculando a derivada de  $y$  em relação ao tempo  $t$  tem-se:

$$\frac{dy}{dt} = L_0 (\ln 10) \frac{k}{2,30} 10^{-\frac{k}{2,30}t} \quad (47)$$

Escrevendo  $r = \frac{dy}{dt}$  (taxa de utilização de oxigênio) e uma vez que  $\ln(10) = 2,302585 \dots$  reescreve-se a equação (47) como sendo

$$r = L_0 k 10^{-\frac{k}{2,30}t}. \quad (48)$$

Procurando linearizar a equação (48) escreve-se:

$$\log(r) = \log(L_0 k 10^{-\frac{k}{2,30}t}) \quad (49)$$

que pelas propriedades dos logaritmos resulta em

$$\log(r) = \log(L_0k) - \frac{k}{2,30}t \log(10). \quad (50)$$

Escrevendo  $\gamma = \log(r)$ ,  $b = \log(L_0k)$  e  $a = -\frac{k}{2,30}$  chega-se à equação linear:

$$\gamma = b + at \quad (51)$$

Então, isolando o termo  $k$  na expressão  $a = -\frac{k}{2,30}$  consegue-se uma equação para o coeficiente de desoxigenação a partir do coeficiente angular da equação linear obtida, ou seja, pelo Método da Diferença de Logaritmos tem-se:

$$k = -2,30a. \quad (52)$$

Ainda, como  $b = \log(L_0k)$ , obtém-se (a partir do uso da base 10)

$$10^b = 10^{\log(L_0k)} \quad (53)$$

e por consequência da definição de logaritmos chega-se a uma expressão para a Demanda Bioquímica Última (DBO total, ou final, ou DBO de primeiro estágio) como sendo:

$$L_0 = \frac{10^b}{k} \quad (54)$$

Na prática, a aplicação do Método da Diferença de Logaritmos prevê a utilização de pares ordenados do produto cartesiano  $t \times \log(r)$ , utilizando dados de DBO obtidos em laboratório. Se faz necessária a

elaboração de um gráfico de pontos discretos,  $P(t, y)$ , cuja abscissa de cada ponto corresponde ao tempo (em dias) de leitura da DBO (utilizados  $t = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ ), que corresponde ao período de 5 dias de análise da DBO) e a ordenada dos pontos é dada por  $(y = b + at)$ , sendo que o valor  $r$  é a taxa dos valores obtidos de DBO (dados laboratoriais). Depois de calculados e esboçados os pontos  $P(t, y)$ , pode-se utilizar o *software* Excel para obtenção de uma regressão linear  $(y = b + at)$  assim o coeficiente angular ( $a$ ) e o coeficiente linear ( $b$ ) desta reta de regressão passam a ser utilizados na determinação do coeficiente de desoxigenação  $k$  através da equação (52).

No Quadro 1 a seguir as expressões para avaliação do coeficiente de desoxigenação  $k$  e da Demanda Bioquímica Última ( $L_0$ ) provindas da aplicação do Método de Thomas e também do Método da Diferença de Logaritmos, tanto com abordagem da base 10 como da base  $e$ .

### Quadro 1

#### Expressões para avaliação do coeficiente de desoxigenação e da Demanda Bioquímica Última.

Fonte: Autores, 2019

Método	Base	Coeficiente de Desoxigenação	Demanda Bioquímica Última
Método de Thomas	Base 10	$k = \frac{6a}{b}$	$L_0 = \frac{1}{6ab^2}$
	Base e		
Método da Diferença de Logaritmos	Base 10	$k = -2,30a$	$L_0 = \frac{10^b}{k}$
	Base e	$k = -a$	$L_0 = \frac{e^b}{k}$

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que o texto deste artigo possa servir como consulta bibliográfica para posterior geração e interpretação de resultados numéricos da aplicação do modelo Streeter e Phelps para estudos de progressão da DBO remanescente (VON SPERLING, 2014a), incluindo a possibilidade de avaliação da influência causada nos resultados pela adoção das diferentes formas de estimativa do coeficiente de desoxigenação.

A importância de se estabelecer pesquisas desta natureza é que a partir da determinação do valor da DBO é possível calcular qual a necessidade de aeração para degradar a matéria orgânica em Estações de Tratamento de Esgoto – ETE. Desta forma, por exemplo, a DBO pode ser empregada como um índice para contabilizar a eficiência de uma ETE, por comparação entre o valor da DBO do esgoto bruto e a do efluente final.

## REFERÊNCIAS

- Barbosa, J.C. **Modelagem e modelos matemáticos na educação científica**. Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia. v.2, n.2, pp. 69-85, 2009.
- Bassanezi, R.C. **Modelagem Matemática: teoria e prática**. São Paulo: Contexto, 2015.
- Costa, F.A., Iglioni, S.B.C. Estudo da periodicidade a partir da modelagem matemática à luz da Teoria da Aprendizagem Significativa. **Revista de Produção Discente em Educação Matemática**. v.7, n.1, pp. 133-145, 2018. ISSN 2238-8044.
- Meneses, C.G.R. **Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização**. 2006. 120 f. Tese (Doutorado Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15938>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2021.
- Menezes, J.P.C., Oliveira, L.F.C., Salla, M.R. **Incertezas sobre a Modelagem Matemática de Qualidade da Água em Curso de Água Urbano**. Ciência & Engenharia, v.25, pp. 1-8, 2016.
- Von Sperling, M. **Estudo Comparativo entre alguns Métodos Utilizados para o Cálculo do Coeficiente de Desoxigenação**. Congresso

Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 13, SEEBLA, Maceió, 1985.

Von Sperling, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014a. 592 p.

Von Sperling, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo

Horizonte: Ed. UFMG, 2014b. 472 p.

Zachi, P. **Modelagem Matemática no Processo de autodepuração no Lajeado Chiquinha**. 2017, 95 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2017

# Viabilidade econômica e financeira de um Sistema fotovoltaico: o caso da Casa do Estudante Universitário IV da UFSM, Campus Frederico Westphalen - RS

Alissana Foss(\*), Débora Seben, Lorimar Francisco Munaretto, Aline Ferrão Custódio Passini

\*Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen. e-mail: alifoss1995@gmail.com

## RESUMO

O estudo objetivou analisar a viabilidade econômica e financeira da instalação de um sistema fotovoltaico como fonte alternativa para redução de custos e diversificação energética na Casa do Estudante Universitário (CEU) IV, bloco B, da UFSM/FW. Realizou-se pesquisa exploratória, de estudo de caso e aplicou-se questionários em empresas do setor fotovoltaico. Para a análise da viabilidade econômica da energia solar fotovoltaica foi realizada média de energia consumida pelos moradores da CEU IV, e configurado um fluxo de caixa, considerando duas situações: com e sem financiamento. Foram analisados o Payback simples, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. Os resultados mostraram que o projeto da implantação de energia solar fotovoltaica é viável para o período analisado.

**Palavras-chave:** Sistema fotovoltaico, Viabilidade econômica, Viabilidade financeira, Casa do Estudante Universitário IV.

## ABSTRACT

The study aimed to analyze the economic and financial viability of installing a photovoltaic system as an alternative source for cost reduction and energy diversification at the House of the University Student (HUS) IV, block B, of UFSM/FW. Exploratory research, case study and questionnaires were applied to companies in the photovoltaic sector. For an analysis of the economic viability of photovoltaic solar energy, an average of energy consumed by residents of HUS IV was performed, and a cash flow was configured, considering two situations: with and without financing. Simple Payback, Net Present Value and Internal Rate of Return were dissipated. The harmed results that the project for the deployment of photovoltaic solar energy is feasible for the period analyzed.

**Key Words:** *Photovoltaic system, Economic viability, Financial viability, House of the University Student IV.*

## INTRODUÇÃO

As energias renováveis, também conhecidas como eletricidade verde, são aquelas oriundas de ciclos naturais e, portanto, são, praticamente, inesgotáveis, além de não alterar o balanço térmico do planeta. As energias renováveis são utilizadas de maneira sustentada, resultando no mínimo impacto ambiental (PACHECO, 2006).

Reis et al. (2012) explicam que a energia solar produzida por meio da instalação de um sistema fotovoltaico, é vista como uma tecnologia do futuro, pois depende de uma fonte limpa e inesgotável: o sol.

Conforme Loppnow (2018), a instalação de painéis fotovoltaicos traz inúmeros benefícios, tanto financeiro quanto ambiental, diminuindo o consumo de energia elétrica oriunda de hidrelétricas, e que possuem um elevado valor financeiro. “Casas e/ou empreendimentos que possuem energia solar fotovoltaica instalada podem gerar sua própria energia e não mais depender das geradoras e distribuidoras do país que podem, em algum momento, deixar de suprir toda a demanda do mercado”. Além disso, a geração de energia elétrica a partir da radiação solar, não emite dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, que representam efeitos nocivos à saúde humana, além de não contribuir com o aquecimento global (LOPPNOW, 2018).

De acordo com Brum (2013), quando se pensa no impacto que a falta de energia elétrica causa em hospitais e escolas, o uso de sistemas de emergências para gerar energia, se tornam cada vez mais necessários. Nesse contexto, o uso da energia solar fotovoltaica mostra-se como ideal por não poluir, ser compacta e possuir baixo custo de manutenção.

Para Dantas e Pompermayer (2008) o barateamento e o aumento da eficiência dos equipamentos disponíveis no mercado nos últimos

anos favorecem o crescimento do uso de energia solar em residências.

A análise da viabilidade sob o aspecto econômico e financeiro se baseia no emprego de técnicas contábeis e financeiras para identificar qual a melhor forma de investimento entre as diversas alternativas existentes, sendo possível enxergar se existe rentabilidade, de quanto ela pode ser e se o investimento vai dar certo ou não. Os métodos mais comuns para a análise de investimento são: *Payback*, Valor presente líquido – VPL e Taxa interna de retorno – TIR (BONA, 2016).

Diante do exposto, o estudo teve como objetivo verificar a viabilidade econômica e financeira na captação de energia solar por meio de placas fotovoltaicas no bloco B da Casa do Estudante Universitário - CEU - IV, da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, campus Frederico Westphalen - FW.

## METODOLOGIA

O estudo apresenta uma abordagem quanti-qualitativo. Para Creswell (2007, p. 3), “um estudo tende a ser mais qualitativo do que quantitativo ou vice-versa. A pesquisa de métodos mistos se encontra no meio deste continuum porque incorpora elementos de ambas as abordagens qualitativa e quantitativa”.

Quanto aos objetivos, o estudo é do tipo exploratório. De acordo com Gil (2002) o estudo exploratório visa proporcionar maior proximidade com o problema, a fim de torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, desenvolvendo, esclarecendo e modificando ideias, sendo seu planejamento bastante flexível, possibilitando a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Quanto aos procedimentos técnicos de coleta de dados, o estudo apresenta pesquisa do tipo bibliográfica. Para Pinsonneault e Kraemer

(1993), a coleta de dados é descrita como a obtenção de dados ou informações em relação as características, ações ou opiniões de pessoas, que representam uma população alvo.

Por meio de questionários foram obtidas as informações necessárias para o sistema fotovoltaico, como a potência dos módulos solares e dos inversores, a quantidade dos mesmos e todos os equipamentos restantes, e as condições de financiamento. Conforme Cervo e Bervian (2002, p. 48), questionário “refere-se a um meio de obter respostas às questões por uma fórmula que o próprio informante preenche”.

A CEU IV, bloco B, está situada na UFSM, campus FW, localizada na Linha Sete de Setembro, BR 386 km 40, no município de FW. Possui 18 apartamentos, distribuídos em uma área total de, aproximadamente, 340m<sup>2</sup>, e 36 moradores discentes.

## RESULTADOS

### Consumo de energia

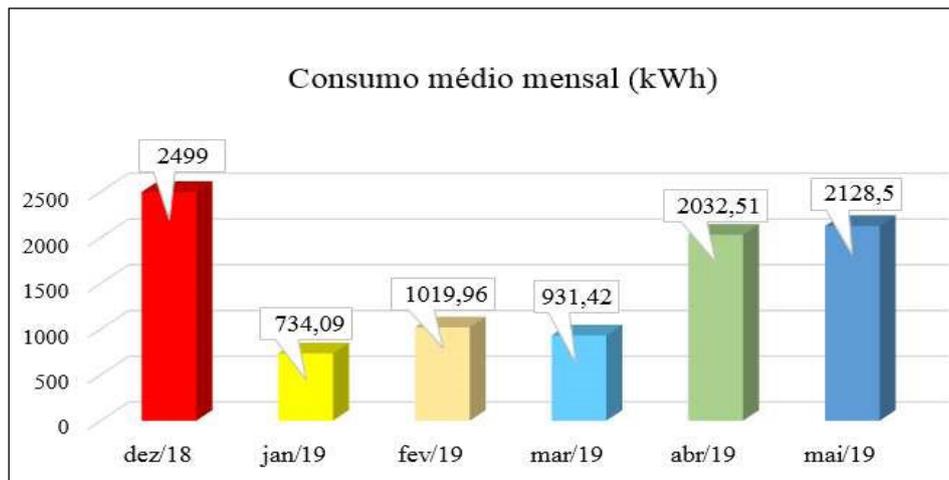
Após a realização das leituras nos medidores de energia situados no hall de entrada do bloco B, da CEU IV, no período de dezembro/2018 a maio/2019 foi possível identificar a quantidade de kWh de energia consumida por mês pelos moradores do respectivo bloco. A figura 1 apresenta graficamente o consumo de energia mensal da CEU IV, de dezembro de 2018 a maio de 2019.

É importante salientar que a leitura do mês de janeiro corresponde ao consumo de kWh do mês de dezembro, assim como a leitura de fevereiro, corresponde ao mês de janeiro e assim por diante. Observa-se que nos períodos de férias dos discentes (metade de dezembro a início de março), se constata menor consumo de energia (kWh), devido a presença de poucos moradores na CEU IV. A figura 1 não apresenta os valores de consumo

de kWh do bloco B dos meses antecedentes a dezembro/2018, visto que os respectivos meses apresentaram o mes-mo consumo de kWh, devido a média estimada.

**Figura 1****Consumo médio mensal (kWh)**

Fonte: Autores (2019).

**Projeção de consumo de energia**

A partir da leitura do medidor de cada apartamento, realizada no mês de dezembro/2018, foi possível projetar o valor gasto em energia do bloco B da CEU IV. O valor de 1 (um) kWh foi obtido por meio de análise da fatura de energia da UFSM campus FW, do mês de abril/2019. O valor mensal de energia do bloco B da CEU IV é de, aproximadamente, R\$ 1.724,03, resultando em um gasto de R\$ 20.688,41 por ano. Esses resultados são apresentados na tabela 1.

Com o valor acumulado de kWh identificado na leitura dos medidores realizada no mês de dezembro/2018 pôde-se encontrar a média de kWh por mês, a estimativa de consumo por ano e o valor pago de energia por apartamento, conforme a tabela 1.

Tabela 1

## Projeção do gasto de energia - CEU IV

Fonte: Autores (2019).

	Apto 1	Apto 2	Apto 3	Apto 4	Apto 5	Apto 6	Apto 7	Apto 8	Apto 9	Apto 10
Tempo de moradia (meses)	21	20	20	21	20	20	21	21	21	20
Medição (12/2018)	3.818,41	3.954,31	2.377,01	1.436,55	1.899,11	2.704,46	3.231,05	1.866,90	5.436,52	3.620,36
Média de consumo mensal (kWh/mês)	181,83	197,72	118,85	68,41	94,96	135,22	153,86	88,9	260,17	181,02
Estimativa do consumo no ano em (kWh)	2.181,95	2.372,59	1.426,21	820,89	1.139,47	1.622,68	1.846,31	1.066,80	3.122,01	2.172,22
Valor de kWh (RS)	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Valor da despesa mensal em energia elétrica (RS)	125,46	136,42	82,01	47,20	65,52	93,30	106,16	61,34	179,52	124,90

	Apto 11	Apto 12	Apto 13	Apto 14	Apto 15	Apto 16	Apto 17	Apto 18	Serviço	TOTAL
Tempo de moradia (meses)	21	20	20	20	20	20	20	20	21	
Medição (12/2018)	3.318,55	2.112,75	1.626,08	1.811,16	1.867,80	3.383,87	1.940,90	1.461,82	3.138,01	51.032,62
Média de consumo mensal (kWh/mês)	158,03	105,64	81,30	90,56	93,39	169,19	97,05	73,09	149,43	2.498,60
Estimativa do consumo no ano em (kWh)	1.896,31	1.267,65	975,65	1.086,70	1.120,68	2.030,32	1.164,54	877,09	1.793,15	29.983,20
Valor de kWh (RS)	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Valor da despesa mensal em energia elétrica (RS)	72,89	72,89	56,10	62,49	64,44	116,74	66,96	50,43	103,11	1.724,03

## Radiação solar do município de FW

Para dimensionar um sistema fotovoltaico, é necessário considerar as variações de radiação solar do local onde o mesmo será instalado, visto que esses valores impactam no rendimento dos módulos, bem como a quantidade média diária de sol. A tabela 2 apresenta os valores de radiação no município de FW, RS, e a média dos mesmos.

**Tabela 2**

### **Radiação solar média mensal em Frederico Westphalen em kWh/m<sup>2</sup>.dia**

Fonte: Adaptado de CRESESB (2018).

<b>Radiação solar média mensal (kWh/m<sup>2</sup>.dia)</b>	
Janeiro	6,39
Fevereiro	5,90
Março	5,15
Abril	4,05
Maio	3,10
Junho	2,55
Julho	2,88
Agosto	3,75
Setembro	4,00
Outubro	5,19
Novembro	6,24
Dezembro	6,61
<b>Média</b>	<b>4,65</b>

Conforme a tabela 2 verifica-se que, no respectivo município, a média anual de radiação solar é de 4,65 Horas de Sol Pleno por dia, estando dentro da faixa de 4 a 4,75 kWh/m<sup>2</sup>dia que corresponde a radiação média do estado do Rio Grande do Sul. Os meses de novembro

a janeiro apresentam maior incidência solar, acima de 6 horas diárias, enquanto os meses de junho e julho a menor incidência de sol, com menos de 3 horas diárias. De acordo com Fotaic Energia Solar (2017), a partir das Horas de Sol Pleno (HSP) é possível calcular a potência necessária do sistema fotovoltaico, por meio da equação a seguir:

$$Potência\ Total = \frac{Energia\ Geração}{Painéis\ Tempo\ Exposição \times \eta}$$

Onde:

*Energia Geração* = Energia consumida pelos moradores da CEU IV, kWh/dia;

*Tempo Exposição* = Horas de Sol Pleno no município de localização;

$\eta$  = Rendimento Global (80%)

Para o presente estudo, a *Energia Geração* é de, aproximadamente, 2.499 kWh/dia;

$$Potência\ Total_{Painéis} = \frac{83,3}{4,65 \times 0,8}$$

$$Potência\ Total_{Painéis} = 22,39\ kWp$$

A partir da potência total dos painéis, encontra-se a potência do inversor, considerando - 20% da potência do sistema fotovoltaico (FOTAIC ENERGIA SOLAR, 2017).

## Equipamentos e valor do investimento

Após a identificação da insolação, foi possível verificar a capacidade mínima necessária para o sistema fotovoltaico, a fim de

atender o consumo de energia dos moradores da CEU IV. A tabela 3 apresenta o orçamento das empresas e a relação de equipamentos do sistema fotovoltaico.

**Tabela 3****Orçamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico**

Fonte: Autores (2019).

EMPRESA A		EMPRESA B	
Equipamentos	Quantidade	Equipamentos	Quantidade
Painéis fotovoltaicos - QCELLS 330Wp	90	Módulos fotovoltaicos - 330Wp	74
Inversor solar - Fronius Poli Power 25kW	1	Inversor Solar - 20kW	1
Cabos de ligação		Cabeamento CC e CA	
Estrutura de fixação		Estrutura de fixação	
Sistema de aterramento		Sistema de aterramento	
Dispositivos de segurança		Conectores	
Área do local	340m <sup>2</sup>	Área necessária	158m <sup>2</sup>
Valor total do sistema	R\$ 98.930,00	Valor total do sistema	R\$ 89.879,00
<b>MÉDIA</b>		<b>R\$ 94.404,50</b>	

O orçamento apresentado pela “empresa A” considerou um sistema com geração de energia de 3.030,43 kWh/mês e potência de 29,70 kWp, o qual apresenta uma estimativa de 124% de geração. Já o orçamento da “empresa B” considerou um potencial total do sistema fotovoltaico de 24,42kWp, gerando 2.532kWh/mês de energia. Para a realização do estudo foi considerada a média dos orçamentos fornecidos, ou seja, o investimento de R\$ 94.404,50, na instalação dos equipamentos.

### **Despesas de manutenção**

A manutenção se caracteriza como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT – NBR 5462, 1994, p. 6). Para a consecução do estudo, foi utilizada a média a partir dos valores de ambas empresas para encontrar o valor da manutenção do respectivo trabalho, totalizando em R\$ 920,00 por ano, considerando que a manutenção é realizada a cada seis meses.

### **Financiamento do sistema fotovoltaico**

Conforme Rosa (2017), um sistema fotovoltaico possui tempo de duração previsto de 25 anos. Para o presente estudo foram consideradas duas situações: com financiamento do investimento inicial e sem financiamento. Os valores das parcelas do financiamento foram apurados considerando a linha de crédito, o qual apresenta carência de 12 meses e prazo de pagamento (amortização do capital) de 7 anos. Para a determinação da viabilidade foi considerado o financiamento de 90% do valor do investimento, como apresentado na tabela 4.

**Tabela 4****Determinação do valor da prestação, valor amortizado, juros e saldo devedor do financiamento por meio da Tabela de Sistema de Amortização Constante – SAC**

Fonte: Dados da Pesquisa

Ano	Saldo Inicial (R\$)	Juros (R\$)	Amortização (R\$)	Prestação (R\$)	Saldo Final (R\$)
0					84.964,05
1	84.964,05	11.113,30		11.113,30	84.964,05
2	84.964,05	11.113,30	12.137,72	23.251,02	72.826,33
3	84.964,05	9.525,68	12.137,72	21.663,41	60.688,61
4	84.964,05	7.938,07	12.137,72	20.075,79	48.550,89
5	84.964,05	6.350,46	12.137,72	18.488,18	36.413,16
6	84.964,05	4.762,84	12.137,72	16.900,56	24.275,44
7	84.964,05	3.175,23	12.137,72	15.312,95	12.137,72
8	84.964,05	1.587,61	12.137,72	13.725,34	0,00

## Viabilidade econômica e financeira

Após identificar o valor da economia de energia com o sistema, valor do investimento e valor as parcelas de financiamento, foi possível analisar a viabilidade econômica e financeira do estudo, tanto com financiamento quanto sem financiamento, tendo em vista o tempo de uso do sistema de 25 anos.

## Apuração dos resultados

A geração de energia inicia-se no ano 1 com valor estimado de 33.374,56 kWh/ano, como mostra a Tabela 6. Essa geração foi estimada a partir de uma média dos sistemas fornecidos nas propostas das empresas contatadas, como mostra a tabela 5.

**Tabela 5****Média Geração kWh/mês**

Fonte: Autores (2019).

Empresa	Geração kWh/mês
A	3.030,43
B	2.532,00
<b>MÉDIA</b>	<b>2.781,21</b>

Quanto à depreciação (coluna Geração x Depreciação) do painel fotovoltaico, foi considerado uma eficiência de 80% no período de 25 anos, resultando em 1,25% ao ano de depreciação de geração, devido a exposição ao ambiente. Ao considerar um custo do kWh de R\$ 0,69, é possível obter a economia na tarifa de energia de, logo no primeiro ano, R\$ 23.028,45, ou seja, R\$ 1.919,04 mensalmente.

**Tabela 6****Energia gerada pelo sistema**

Fonte: Autores (2019)

Ano	Geração kWh	Geração x Depreciação	Custo kWh	Economia
0				
1	33.374,56	417,18	0,69	R\$ 23.028,45
2	32.957,38	411,97	0,69	R\$ 22.740,59
3	32.545,41	406,82	0,69	R\$ 22.456,33
4	32.138,59	401,73	0,69	R\$ 22.175,63
5	31.736,86	396,71	0,69	R\$ 21.898,43
6	31.340,15	391,75	0,69	R\$ 21.624,70
7	30.948,40	386,85	0,69	R\$ 21.354,39
8	30.561,54	382,02	0,69	R\$ 21.087,46
9	30.179,52	377,24	0,69	R\$ 20.823,87
10	29.802,28	372,53	0,69	R\$ 20.563,57

11	29.429,75	367,87	0,69	R\$ 20.306,53
12	29.061,88	363,27	0,69	R\$ 20.052,70
13	28.698,61	358,73	0,69	R\$ 19.802,04
14	28.339,87	354,25	0,69	R\$ 19.554,51
15	27.985,62	349,82	0,69	R\$ 19.310,08
16	27.635,80	345,45	0,69	R\$ 19.068,71
17	27.290,36	341,13	0,69	R\$ 18.830,35
18	26.949,23	336,87	0,69	R\$ 18.594,97
19	26.612,36	332,65	0,69	R\$ 18.362,53
20	26.279,71	328,50	0,69	R\$ 18.133,00
21	25.951,21	324,39	0,69	R\$ 17.906,34
22	25.626,82	320,34	0,69	R\$ 17.682,51
23	25.306,49	316,33	0,69	R\$ 17.461,48
24	24.990,15	312,38	0,69	R\$ 17.243,21
25	24.677,78	308,47	0,69	R\$ 17.027,67

Para encontrar o valor da geração de energia do sistema no primeiro ano, a média do sistema (2.781,21kWh/mês) foi multiplicada por 12 meses. Já para os anos seguintes, foi considerada a depreciação de 1,25% ao ano, e subtraído da geração do ano anterior. Para encontrar a economia gerada, a geração de kWh do ano foi multiplicada pelo valor de um kWh, obtido por meio de análise da fatura da energia.

## Fluxo de caixa

Foram projetados os fluxos de caixa com financiamento e outro sem financiamento para avaliar a viabilidade econômica e financeira na aquisição do sistema fotovoltaico. A tabela 7 e tabela 8 apresentam o fluxo de caixa projetado para um período de 25 anos.

Tabela 7

## Fluxo de caixa com financiamento

Fonte: Autores (2019)

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6
Resultado economia de energia		23.028,45	22.740,59	22.456,33	22.175,63	22.898,43	21.624,70
(-) Investimento (R\$)	-94.404,50	3.954,31	2.377,01	1.436,55	1.899,11	2.704,46	3.231,05
(+) Depreciação (R\$)		3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(+) Liberação financiamento (R\$)	84.964,05						
(-) Pagamentos dos juros (R\$)		11.113,30	11.113,30	9.525,68	7.938,07	6.350,46	4.762,84
(-) Parcela do financiamento (R\$)			12.137,72	12.137,72	12.137,72	12.137,72	12.137,72
(-) Manutenção (R\$)		920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado (R\$)	-9.440,45	14.771,33	2.345,75	3.649,11	4.956,02	6.266,44	7.580,32

	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14
Resultado economia de energia	21.354,39	21.087,46	20.823,87	20.563,57	20.823,87	20.052,70	19.802,04	19.554,51
(-) Investimento (R\$)								
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(+) Liberação financiamento (R\$)								
(-) Pagamentos dos juros (R\$)	3.175,23	11.113,30						
(-) Parcela do financiamento (R\$)	12.137,72	12.137,72						
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado (R\$)	8.897,63	10.218,31	23.680,05	23.419,75	23.680,05	22.908,88	22.658,22	22.410,69

	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20	Ano 21
Resultado economia de energia	19.310,08	19.068,71	18.830,35	18.594,97	18.364,53	18.133,00	17.906,34
(-) Investimento (R\$)							
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(+) Liberação financiamento (R\$)							
(-) Pagamentos dos juros (R\$)							
(-) Parcela do financiamento (R\$)							
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado (R\$)	22.166,26	21.924,89	21.686,53	21.451,15	21.218,71	20.989,18	20.762,52

	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Resultado economia de energia	18.133,00	17.461,48	17.243,21	17.027,67
(-) Investimento (R\$)				
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(+) Liberação financiamento (R\$)				
(-) Pagamentos dos juros (R\$)				
(-) Parcela do financiamento (R\$)				
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado (R\$)	20.989,18	20.317,66	20.099,39	19.883,85

Tabela 8

**Fluxo de caixa com financiamento**

Fonte: Autores (2019).

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
Resultado economia de energia		23.028,45	22.740,59	22.456,33	22.175,63
(-) Investimento (R\$)	-94.404,50				
(+) Depreciação (R\$)		3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(-) Manutenção (R\$)		920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado do fluxo de caixa (R\$)	-94.404,50	25.884,63	25.596,77	25.312,51	25.031,81

	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11
Resultado economia de energia	22.898,43	21.624,70	21.354,39	21.087,46	20.823,87	20.563,57	20.306,53
(-) Investimento (R\$)							
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado do fluxo de caixa (R\$)	24.754,61	24.480,88	24.210,57	23.943,64	23.680,05	23.419,75	23.162,71
	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	Ano 16	Ano 17	Ano 18
Resultado economia de energia	20.052,70	19.802,04	19.554,51	19.310,08	19.068,71	18.830,35	18.594,97
(-) Investimento (R\$)							
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado do fluxo de caixa (R\$)	22.908,88	22.658,22	22.410,69	22.166,26	21.924,89	21.686,53	21.451,15

	Ano 19	Ano 20	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Resultado economia de energia	18.362,53	18.133,00	17.906,34	17.682,51	17.461,48	17.243,21	17.027,67
(-) Investimento (R\$)							
(+) Depreciação (R\$)	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18	3.776,18
(-) Manutenção (R\$)	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00	920,00
Resultado do fluxo de caixa (R\$)	21.218,71	20.989,18	20.762,52	20.538,69	20.317,66	20.099,39	19.883,85

A partir dos resultados da economia anual de energia, foram adicionados os valores da depreciação do investimento de R\$ 3.776,18 ao ano, o valor do financiamento bancário e dos equipamentos, deduzidos os valores dos juros do financiamento, amortização e despesa de manutenção, para a apuração do resultado do fluxo de caixa.

## ANÁLISE DA VIABILIDADE DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

### Valores da TMA, VPL e TIR

A tabela 9 apresenta os resultados para as condições apresentadas, tanto com financiamento quanto sem financiamento

**Tabela 9**

#### TMA, VP, TIR e VPL

Fonte: Autores (2019).

Com financiamento		Sem financiamento	
TMA	12%	TMA	12%
VPL	R\$ 100.762,49	VPL	R\$ 188.736,08
TIR	97,50%	TIR	26,25%
VPL – INVESTIMENTO = R\$ 91.322,04		VPL – INVESTIMENTO = R\$ 94.331,04	

A partir dos resultados do fluxo de caixa, foi possível identificar o Valor Presente (VP), de R\$ 100.762,49 para o caso de investimento com financiamento e R\$ 188.736,08 sem financiamento. Para o cálculo do VPL, foi considerado a TMA de 12%, tanto com uso do financiamento quanto sem financiamento. Os resultados demonstram à TIR de 97,50% com financiamento e 26,25% sem financiamento para aquisição do sistema fotovoltaico.

Os resultados demonstram VPL positivo de R\$ 91.322,04 com o uso de financiamentos e de R\$ 94.331,58 sem o uso de financiamentos. Nesta perspectiva não se evidencia variação significativa com ou sem o uso de financiamento para a aquisição do equipamento.

## PAYBACK

A Tabela 10 apresenta o tempo necessário para o retorno do investimento, considerando o fluxo de caixa de cada ano, apresentado anteriormente, tanto para o caso com financiamento quanto sem financiamento.

**Tabela 10**

### Resultado do Fluxo de Caixa e *Payback*

Fonte: Autores (2019).

Ano	Fluxo de caixa (com financiamento)	<i>PayBack</i>	Fluxo de caixa (sem financiamento)	<i>PayBack</i>
0		94.404,50		94.404,50
1	14.771,33	- 79.633,17	25.884,63	- 68.519,87
2	2.345,75	- 77.287,42	25.596,77	- 42.923,10
3	3.649,11	- 73.638,31	25.312,51	- 17.610,59
4	4.956,02	- 68.682,29	25.031,81	7.421,22
5	6.266,44	- 62.415,85	24.754,61	32.175,83
6	7.580,32	- 54.835,53	24.480,88	56.656,72
7	8.897,63	- 45.937,90	24.210,57	80.867,29
8	10.218,31	- 35.719,59	23.943,64	104.810,94
9	23.680,05	- 12.039,54	23.680,05	128.490,99
10	23.419,75	11.380,21	23.419,75	151.910,74
11	23.680,05	35.060,26	23.162,71	175.073,45

12	22.908,88	57.969,14	22.908,88	197.982,33
13	22.658,22	80.627,36	22.658,22	220.640,54
14	22.410,69	103.038,05	22.410,69	243.051,24
15	22.166,26	125.204,31	22.166,26	265.217,50
16	21.924,89	147.129,20	21.924,89	287.142,38
17	21.686,53	168.815,72	21.686,53	308.828,91
18	21.451,15	190.266,87	21.451,15	330.280,06
19	21.218,71	211.485,58	21.218,71	351.498,77
20	20.989,18	232.474,76	20.989,18	372.487,95
21	20.762,52	253.237,28	20.762,52	393.250,46
22	20.989,18	274.226,45	20.538,69	413.789,15
23	20.317,66	294.544,11	20.317,66	434.106,80
24	20.099,39	314.643,50	20.099,39	454.206,19
25	19.883,85	334.527,34	19.883,85	474.090,04

Os resultados indicam que são necessários 9,51 anos para recuperar o investimento inicial de R\$ 94.404,50, para a hipótese de financiamento. Enquanto que para a hipótese de não ser feito financiamento, são necessários, 3,70 anos para obtenção do retorno do investimento no equipamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve por objetivo analisar a viabilidade econômica e financeira da instalação de um sistema fotovoltaico na CEU - IV, bloco B. Por meio de consulta em empresas do setor de energia solar,

foram verificados os equipamentos necessários e os valores gastos na instalação do sistema fotovoltaico no valor médio de investimento de R\$ 94.404,50. Analisando-se o investimento inicial necessário para implantação do sistema de geração fotovoltaica na CEU IV, bloco B, conclui-se que é uma fonte energética totalmente viável, pois os resultados das análises apontaram uma economia anual de energia, logo no primeiro ano de R\$ 23.028,45.

Na avaliação econômica e financeira realizada por meio dos métodos de *Payback* simples, do VPL e TIR, sinalizou a viabilidade econômica do projeto com um retorno financeiro do investimento em 9,51 anos, para o cenário com financiamento e 3,70 anos sem a utilização de financiamentos na aquisição do equipamento, tornando-se mais viável a aquisição do sistema fotovoltaico sem a realização de empréstimo.

De uma forma geral, a energia solar conectada à rede deve ser encarada como uma fonte geradora de energia complementar diante das barreiras ainda existentes. No entanto, é uma produção de energia elétrica limpa e que beneficia o meio ambiente. Para novos estudos sugere-se estender o estudo de viabilidade aos blocos de sala de aula e laboratórios da própria universidade e, posteriormente, para todos os campi UFSM.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462. **Confiabilidade e maneabilidade.** 1994. Disponível para download em: [https://kupdf.net/queue/nbr-5462-tb-116-confiabilidade-emantenabilidade\\_58fbd9f8d-c0d609527959e81\\_pdf?queue\\_id=-1&x=1556416184&z=MTM4LjlxOS4yNTluODI=](https://kupdf.net/queue/nbr-5462-tb-116-confiabilidade-emantenabilidade_58fbd9f8d-c0d609527959e81_pdf?queue_id=-1&x=1556416184&z=MTM4LjlxOS4yNTluODI=). Acesso em: 27/04/2019.
- BONA, A. **Conheça os métodos de análise de investimentos.** 2016. Disponível em: <https://andrebona.com.br/analise-de-investimentos/>. Acesso em: 03/11/2018.
- BRUM, T. S. **Projeto de Uso de Energia Fotovoltaica como Fonte Emergencial.** Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

CERVO, A. L. BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CRESESB – **Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito**. Potencial Solar – SunData. 2018. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sun data&](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sun%20data&). Acesso em: 24/05/2019

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativos, quantitativos e mistos**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DANTAS, S.G., POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**. Brasília: Ipea, 2018. (Texto para Discussão, n. 2388).

FOTAIC ENERGIA SOLAR. **Dimensionamento Sistema Solar Fotovoltaico Passo a Passo**. 2017. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=i5NG\\_wHAodk&t=10s&fbclid=IwAR0MwAAemde-qG1AuRvDwxg4H\\_sDysVHbGUbTWvlQysM-vbISMsFs9AmSShcfg](https://www.youtube.com/watch?v=i5NG_wHAodk&t=10s&fbclid=IwAR0MwAAemde-qG1AuRvDwxg4H_sDysVHbGUbTWvlQysM-vbISMsFs9AmSShcfg). Acesso em 24/05/2019.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em: [http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa__antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em 07/10/2018

LOPPNOW, S. **Energia Solar: um caminho para**

**a sustentabilidade**. 2018. Disponível em: <http://autossustentavel.com/2018/03/energia-solar-caminho-para-sustentabilidade.html>. Acesso em: 30/09/2018.

PACHECO, F. **Energias Renováveis: Breves Conceitos**. Conjuntura e Planejamento, n. 149, p. 4–11, 2006.

PINSONNEAULT, A. KRAEMER, K. L. **Survey research in management information systems: na assesement. Journal of Management Information System**, 1993. Disponível em: [http://borders.arizona.edu/classes/mis-696a/resources/readings/Pinsonneault-Kraemer-1993-JMISSurveyResearchMethodologyInMIS\\_AnAssessment.pdf](http://borders.arizona.edu/classes/mis-696a/resources/readings/Pinsonneault-Kraemer-1993-JMISSurveyResearchMethodologyInMIS_AnAssessment.pdf). Acesso em: 15/10/2018.

REIS, L. B. dos; FADIGAS, E. A. F. A; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e as práticas do Desenvolvimento Sustentável**. 2 ed. rev. e atual. Barueri, SP: Manole, 2012.

ROSA, R. S. **Origem do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**. 2017. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sf-cr-on-grid>. Acesso em: 12/09/2018.

# Agroecologia como ferramenta de efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável: um estudo de caso

Kelly Mallmann de Aquino (\*), Jéssica Stefanello Cadore, Aline Ferrão Custodio Passini

\* Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, kellyaquinoeas@gmail.com.

## RESUMO

Tendo em vista a intensa degradação ambiental ocasionada pela agricultura convencional e a marginalização dos pequenos produtores rurais, é de suma importância uma alternativa promissora para a produção de alimentos, favorecendo o cumprimento dos objetivos previstos pela Agenda 2030. A Agenda 2030 visa o atendimento de 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), os quais subdividem-se em 169 metas. A agricultura sustentável tem como base a agroecologia, a qual proporciona sustentáveis científicas e técnicas para ir além das práticas agrícolas alternativas, desenvolvendo agroecossistemas que utilizem o mínimo de agroquímicos e energia externa. Este trabalho buscou apresentar questões socioambientais intrínsecas à produção orgânica certificada em uma propriedade agroecológica, demonstrando a relação entre essa prática agrícola com o atendimento dos ODS. O levantamento foi realizado por meio de visitas técnicas, intensa observação holística e diálogo com os agricultores da propriedade. A apresentação das técnicas utilizadas no manejo e produção sustentável de alimentos são de grande importância para a propagação de conhecimento, além de motivar demais agricultores a seguir a tendência proposta pela agricultura orgânica. Dentre as ações desenvolvidas na propriedade, para o favorecimento da agroecologia, 33 foram levantadas e vinculadas aos ODS, contribuindo para o alcance de 13 dos 17 objetivos propostos pela Agenda 2030. Entre ODS de maior vínculo e atendimento estão o objetivo 12, seguido pelo objetivo 15. Os ODS 11, 3, 13, 6, 1, 2 e 8 também se destacam, respectivamente. Ainda, das 169 metas dos ODS, 32 metas foram levantadas como passíveis de atendimento na contribuição da

produção agroecológica, evidenciando, assim, o potencial da agricultura orgânica no cenário político global de sustentabilidade e a ampla conveniência socioeconômica e ambiental na realidade local dos agricultores familiares.

**Palavras-chave:** *agricultura sustentável, ODS, certificação orgânica, agroecossistemas, socioambiental*

## ABSTRACT

Given the intense environmental degradation caused by conventional agriculture and the marginalization of small rural producers, a promising alternative for the production of food is extremely important, favoring the fulfillment of the objectives foreseen by Agenda 2030. Agenda 2030 aims to meet the needs of 17 Sustainable Development Goals (SDGs), which are subdivided into 169 goals. Sustainable agriculture is based on agroecology, which provides scientific and technical support to go beyond alternative agricultural practices, developing agroecosystems that use a minimum of agrochemicals and external energy. This work sought to present socioenvironmental issues intrinsic to certified organic production in an agroecological property, demonstrating the relationship between this agricultural practice and the attendance of the SDGs. The survey was carried out through technical visits, intense holistic observation and dialogue with farmers on the property. The presentation of the techniques used in the management and sustainable production of food is of great importance for the spread of knowledge and motivates other farmers to follow the trend proposed by organic agriculture. Among the actions developed on the property, in favor of agroecology, 33 were raised and linked to the SDGs, contributing to the achievement of 13 of the 17 objectives proposed by the 2030 Agenda. Among the SDGs of greater bond and service are objective 12, followed by objective 15. SDGs 11, 3, 13, 6, 1, 2 and 8 also stand out, respectively. Still, of the 169 SDG goals, 32 goals were raised as liable to meet the contribution of agroecological production, thus evidencing the potential of organic agriculture in the global political scenario of sustainability and the wide socioeconomic and environmental convenience in the local reality of family farmers.

**Key Words:** *sustainable agriculture, SDGs, organic certification, agroecosystems, socioenvironmental.*

## INTRODUÇÃO

Sendo fomentado desde a década de 80, o conceito de desenvolvimento sustentável encontra-se enraizado nas plataformas políticas de todo o planeta. A busca pelo progresso em harmonia com os recursos naturais disponíveis e a ascensão socioambiental e econômica da geração atual, sem comprometer as futuras gerações, são preocupações presentes nos encontros dos líderes mundiais.

Em 2015, como resultado da Conferência da ONU (Organização das Nações Unidas) sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), realizada em 2012, ocorreu a Cúpula do Desenvolvimento Sustentável, na qual as Nações Unidas, em negociação com os estados-membros e a sociedade civil, definiram os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes são apresentados na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, junto a 169 metas (BRASIL, 2021). Ou seja, embasam um plano de ações que direcionam a jornada humanitária para um progresso resiliente.

O incentivo à agricultura orgânica encaixa-se perfeitamente nas práticas locais necessárias, pois, além de contribuir como alternativa na renda familiar dos agricultores menos abastados, atuando na erradicação da pobreza e no crescimento econômico inclusivo e sustentável, também proporciona a aprendizagem, o empoderamento feminino e o combate a mudança do clima e seus impactos danosos. Ao mesmo tempo que esta prática sustenta a produtividade agrícola, protege o solo e conserva energia, tornando desnecessários insumos externos (ALTIERI, 2012).

O plantio orgânico oferta um bom nível de remuneração aos agricultores e, além de apresentar maior qualidade nutricional, sua produção evita o contato dos trabalhadores com os agrotóxicos e seus possíveis efeitos prejudiciais. Ainda, possibilita uma melhor gestão dos recursos

naturais, uma vez que não gera resíduos poluentes e amplia o respeito aos organismos vivos, na diversificação da flora e fauna e considera os ciclos da vida e métodos naturais, aonde o crescimento e a desintegração equilibram as reservas de fertilidade (HOWARD, 2012).

O Brasil é um país em que a agroindústria atua predominantemente, tornando os impactos ambientais e à saúde humana recorrentes consequências do uso de insumos agrícolas (SECOURS CATHOLIQUE, 2016). Segundo relatório de Secours Catholique (2016), a agricultura familiar é o caminho para a garantia da soberania alimentar, sendo esta responsável pela produção de 70% dos alimentos consumidos no Brasil, empregando 74% dos trabalhadores e ocupando apenas 24% das terras agricultáveis.

O levantamento e a identificação das consequências socioambientais associadas a esta prática requerem o entendimento do projeto proposto e um reconhecimento das principais características do ambiente afetado. Desta forma, norteiam a previsão das ações cabíveis para que a prática corrobore com as alternativas sustentáveis da produção de alimentos e identifique a atividade de produção orgânica como cura interdisciplinar, buscando o equilíbrio entre meio ambiente e sociedade.

## OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo identificar ações socioambientais vinculadas à prática da agricultura orgânica certificada e como esta contribui para o atendimento dos ODS. Por meio do estudo de caso buscou-se constatar a amplitude da produção orgânica ao reunir a preservação do meio ambiente, a valorização dos conhecimentos e práticas tradicionais e o bem-estar dos consumidores. Deste modo, fazendo a aliança da preocupação social com as técnicas ecológicas aplicáveis à

agricultura, defendendo a necessidade de amplificação dos agroecossistemas na pretensão de mudanças estruturais na agricultura brasileira.

## METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram realizadas duas visitas técnicas à uma propriedade de produção orgânica certificada, nas quais foram realizadas observações e entrevistas gravadas para conhecimento da área estudada. Levantou-se a localização da propriedade e produção principal, as técnicas utilizadas, a realidade no cotidiano dos agricultores, e foram realizados registros fotográficos. Para isso, foram elaborados o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, bem como Termos de Confidencialidade, os quais foram assinados pelos proprietários do Sítio agroecológico das Amoras a fim de garantia da ética e uso apropriado das imagens pessoais na realização da pesquisa.

A Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (BRASIL, 2012) aborda medidas agroecológicas que permitem a concretização dos ODS a partir da agroecologia. Assim, a legislação nacional aponta para a construção de um modelo de desenvolvimento sustentável a partir da agroecologia (ROSA e CAMPOS, 2020). Desta forma, através do levantamento de dados realizados por meio de visitas técnicas ao Sítio das Amoras, propriedade de produção orgânica certificada, foram realizadas associações ao cumprimento dos objetivos e metas previstos na Agenda 2030.

## RESULTADOS

O sítio das amoras estudado localiza-se na zona rural do município Vicente Dutra, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A pro-

priedade foi adquirida pela família em 2008, sendo inicialmente fruto de herança, partilhada entre dois irmãos. A área superior da partilha, classificada pelo antigo proprietário como pouco produtiva, apresentava relevo acidentado e maior incidência de floresta nativa, sendo imprópria para a mecanização e dificultando a produção convencional. Essa área passou a ser arrendada, porém as safras acabaram gerando colheitas de baixa qualidade e não atenderam às expectativas.

Visando melhorias na qualidade de vida e no sistema produtivo da propriedade, os proprietários decidiram, então, realizar a transição para produção totalmente orgânica. Assim, a propriedade está há 8 anos sem adição de qualquer químico e há 4 anos certificada pela Rede Ecovida. O Sítio das Amoras possui área de 10,4 hectares, contendo perímetro de 1,38 km, sendo regido por um casal de agricultores e seus familiares. O Sítio das Amoras conta, atualmente, com 25 produtos orgânicos certificados. A principal produção atual é a cana-de-açúcar, seguida de milho, mandioca, amendoim e porongo. Também são produzidas frutas no pomar e na agrofloresta, além de hortaliças, ervas medicinais e temperos. Carnes, ovos e leite são produzidos apenas para subsistência. A propriedade ainda conta com algumas áreas destinadas a adubação verde, que cobre o terreno por determinado período, para manter e conservar a diversidade e atividade biológica do solo, incrementando a fertilidade a longo prazo.

## **TÉCNICAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICA**

Para o desenvolvimento de uma agricultura mais autossuficiente e sustentável é necessária acentuada compreensão da natureza e dos princípios de funcionamento dos agroecossistemas (ALTIERI, 2012), para assim possibilitar o planejamento das culturas instaladas no ano

agrícola e sua rotação, biodiversidade, cultivo e consorciamento. Além de medidas de conservação do solo, áreas de refúgio dos inimigos naturais e cortinas vegetais, que dão condições para a biodiversidade das plantas (PENTEADO, 2001). A propriedade agroecológica estudada não é alinhada, apresentando-se em desordem e com misto de 160 espécies. Gliessman (2005) apresenta o conceito do manejo da complexidade em agroecossistemas, que considera o conhecimento da interação entre todos os fatores que vem a formar o complexo ambiental. Além da extensão da variabilidade que pode ocorrer na unidade produtiva de um ano para o outro e entre as estações, ocorrendo diferentes padrões dinâmicos em constante transformação, aonde o agricultor deve buscar o máximo de adaptação.

## **AGROFLORESTA**

As primeiras mudanças implantadas foi a diversificação da produção em policultivos e a recuperação e enriquecimento da reserva legal como corredor ecológico permanente, constituindo uma agroflorestal, que inicialmente objetivava apenas atrair a diversidade de insetos, microrganismos e aves.

Na agrofloresta, classificada como sistema de produção florestal de múltiplo uso (ALTIERI, 2012) ocorre consórcios mistos com espécies arbóreas, arbustivas e culturas de açaí e abacaxi, mandioca, entre outras. Também foram introduzidas em faixa as espécies de eucalipto e uva japonesa, que produzem madeira para construção, para ferramentas e lenha que abastece a propriedade. É necessário o manejo de raleamento e poda seletivo que permita maior penetração de luz e o surgimento de 2 ou 3 estratos para dar continuidade. Como é uma área montanhosa, foram plantadas em fileiras alternadas perpendiculares, contornando o sentido

da declividade (Figura 1), estas árvores formam quebra-ventos e fornecem forragem para o solo.

**Figura 1****Fileira arbórea perpendicular ao sentido da declividade.**

Fonte: Autores



Os sistemas agroflorestais comportam alta diversidade, onde convivem plantas madeireiras, frutíferas, graníferas, ornamentais, medicinais e forrageiras que devem ser cuidadosamente planejadas. O plantio em contorno auxilia na recuperação do teor de nutrientes e matéria orgânica do solo, reduz a perda de solo e água e o risco de perda de culturas durante as estações muito secas, pois modera os efeitos da evapotranspiração excessiva, além de dispor produtos madeireiros para consumo doméstico ou venda (ALTIERI, 2012).

## POLICULTIVOS E CONSÓRCIOS

Policultivos são representados por combinações de espécies que podem ser perenes com perenes, anuais com perenes e anuais com anuais, e apresentam numerosos arranjos espaciais (ALTIERI, 2012). A principal produção na propriedade é a de cana-de-açúcar alternada em faixas com feijão-forrageiro (feijão-guandu) (Figura 2), uma leguminosa que intensifica a disposição de nitrogênio no solo, melhorando as condições de produção.

**Figura 2****Produção consorciada de cana-de-açúcar e feijão-guandu**

Fonte: Autores



A nutrição nitrogenada também é intensificada com o consórcio entre o cultivo perene de cana-de-açúcar e uma leguminosa. Assim, o nitrogênio atmosférico pode ser transferido para as plantas associadas não leguminosas e aumenta consideravelmente a produção, executando uma interação positiva (ALTIERI, 2012). O feijão-guandu é muito utilizado como adubação verde e apresenta múltiplas funções na produção agrícola, desde o valor biológico elevado para melhoria do meio ambiente até o valor nutritivo amplamente usado na alimentação humana e animal.

Com a cana-de-açúcar, cultivada na propriedade, é produzido o açúcar mascavo orgânico, o qual é destinado ao consumo e comercialização. Neste processo é feita a moagem manual da cana e o intenso cozimento do caldo. A unidade de produção é autossuficiente em lenha para tal cozimento, ou seja, o resíduo do processo é utilizado na propriedade. O bagaço da cana-de-açúcar é estocado como cobertura morta do solo, disposto em áreas que apresentam pouca matéria orgânica.

Toda a produção é consorciada. Na produção de milho, mandioca e amendoim os consórcios ocorrem com espécies de cobertura verde como crotalária, aveia, ervilhaca e mucuna. Atualmente, a produção de mandioca é consorciada com aveia (Figura 3), sendo esta semeada quan-

do as folhas dos pés de mandioca começam a cair, pois acama fácil e não derruba a mandioca. Já foi usado, em consórcio com a mandioca, o tremoço e o feijão-guandu, mas como acamaram muito forte derrubaram a mandioca e não são mais utilizados. Estes testes práticos são realizados até resultarem em uma produção satisfatória e são compartilhados entre agricultores, pois ainda são poucos os estudos nessa área.

**Figura 3****Produção consorciada de mandioca e aveia.**

Fonte: Autores



Os proprietários salientam que esta mistura de espécies gera a atração de alguns animais e a inibição de outros, e que esse controle deve ser harmônico ao imitar a natureza. Para Altieri (2012) a regra é clara: quanto mais diversificadas as espécies de plantas, animais e organismos do solo, maior a pluralidade de comunidades de inimigos naturais que o ambiente poderá sustentar.

A biodiversidade de uma agroecossistema é intensificada pela quantidade de cultivos que compõe a rotação, pela proximidade de floresta, pela presença de vegetação nativa e pela diversidade de vegetação no entorno e dentro do sistema de produção (ALTIERI, 2012). Na propriedade é realizada a rotação de culturas, podendo apresentar outra organização em breve, porém é dada atenção especial em manter o solo sempre coberto. O controle de plantas espontâneas é feito com o auxílio do trator

por roçadas com grade de disco antes do plantio, e por capina manual com alternância de canteiros para a manutenção após o plantio. A grade de disco é importante por incorporar ao solo as plantas de cobertura, sempre após a maturação das sementes.

## CULTIVOS DA COBERTURA

São utilizadas na propriedade, para a proteção do solo, coberturas mortas como as ramas de amendoim após a colheita e coberturas de adubação verde como as espécies crotalária, aveia, ervilhaca e mucuna e calopogônio. A adubação verde tem a dupla função de fazer a cobertura do solo para que não ocorra a incorporação de ervas daninhas ao sistema e o sombreamento necessário para algumas culturas, não propiciando a exposição do solo para a ação das intempéries ambientais.

As espécies de cobertura verde foram semeadas na propriedade e também necessitam de manutenção, mesmo sendo cultivares mais simples, as decisões de consórcios são de acordo com as necessidades das culturas. Também ocorre a rotação das coberturas nas áreas de cultivo de propriedade e suas sementes geram renda ao serem comercializadas ou trocadas em feiras de produção orgânica. Assim sendo, com pouco trabalho e economia a manutenção da fertilidade do solo ocorre devido a incorporação de culturas de leguminosas, que com seus nódulos fixam nitrogênio no solo e o restante da planta fornece húmus ao ser incorporada na decomposição (HOWARD, 2012). Altieri (2012) destaca, entre os benefícios dos cultivos de cobertura: melhorias na estrutura do solo, aumento da fertilidade e o manejo de pragas.

Os consórcios com adubação verde também intensificam a variedade de cores na produção, abordando a questão de insetos e polinizadores presentes na propriedade, muito válidos na produção orgânica. Ou

seja, são semeados alimentos para atração dos insetos e esses atraem predadores naturais, como aves de espécies variadas e assim ocorre o domínio de toda a cadeia.

A adubação verde torna desnecessária a adubação química que, além de demandar elevado custo aos produtores, pode ser prejudicial ao solo e à saúde dos agricultores. Com a inutilização de agrotóxicos e adubos sintéticos também ocorre a redução do uso de recursos naturais não renováveis, pois a maioria dos insumos químicos são derivados do petróleo e ainda são transportados de longas distâncias (REINIGER et al., 2017). Na visão dos agricultores a adubação verde representa vida ao solo e, quanto mais vida, mais longa e eficiente é a produção.

## HORTA E POMAR

A horta da propriedade não é organizada em canteiros, formando uma produção dispersa de alface, repolho, couve, alho, cebola, pepino, salsa e pimentão. A diversidade de produtos cultivados na mesma área diminui a dependência de recursos externos, mas intensifica a gestão familiar na utilização de mão de obra. Com isso, o cultivo de hortaliças vem aumentando a adoção de adubação orgânica devido ao efeito benéfico do material orgânico nas características químicas e físicas do solo, além do elevado preço dos adubos minerais.

No início da produção orgânica foram produzidos e utilizados muitos biofertilizantes. Atualmente não são mais necessários, pois o solo já está 100% recuperado na maioria das áreas de cultivo. O único biofertilizante utilizado, principalmente na horta da propriedade, é uma solução desenvolvida na própria propriedade, através de urina de vaca. Assim, a produção é estimulada por um componente sem custo. De acordo com Barbosa et al. (2006), a urina da vaca contém substâncias importantes

para o desenvolvimento da planta como o potássio, nitrogênio, enxofre, sódio e fenóis que reunidas melhoram a saúde das plantas que passam a apresentar maior resistência às pragas e doenças. Para Vêras et al. (2015) a aplicação de urina de vaca resultou no crescimento e peso de plantas de pimentão.

O pomar cultivado na propriedade conta com imensa variedade de frutas como bergamota, tangerina, laranja, abacate, limão, maçã, pêssigo, banana, entre outros, e espécies variadas de cobertura verde. Num pensamento a longo prazo, foram plantados diversos pés da mesma fruta, pois, além de abastecer a alimentação da família de agricultores, também é atrativo para a instalação de pássaros na área. Assim, os passarinhos vão se instalar, fazer seus ninhos e comer e furar as frutas, mas também controlam os insetos na horta e pomar, combatendo tal problema num sistema complexo e surpreendente. Após ser implantada a produção orgânica com viés de sustentabilidade, o número de espécies de pássaros e os variados cantos vem aumentando na propriedade e encantados os camponeses.

Em épocas de colheita de cana-de-açúcar, quando a quantidade de serviços é intensificada, é comum o emprego de mão de obra temporária. Nestes casos, ocorre a contratação por diária e o proprietário faz questão de pedir qual o valor desejado pelo empregado para realizar as tarefas necessárias e honrar o valor. Desta forma, valoriza-se a mão de obra local disponível, propiciando o bem-estar social na comunidade.

## **ODS FAVORECIDOS PELA PRODUÇÃO ORGÂNICA CERTIFICADA**

A partir da intensa observação holística perante os aspectos sociais e ambientais presentes na propriedade em estudo, foi possível realizar a identificação de 33 ações desenvolvidas em prol da produção orgânica

e associá-los aos 17 ODS e as 169 metas previstas na Agenda 2030. Essa relação entre as ações identificadas e os ODS e metas relacionadas pode ser visualizado no Quadro 1.

**Quadro 1****Ações socioambientais identificadas no Sítio Agroecológico e os ODS e metas relacionados.**

Fonte: Autores

<b>Ação identificada</b>	<b>ODS e Metas relacionadas</b>	<b>Ação identificada</b>	<b>ODS e Metas relacionadas</b>
Utilização de água de afloramento natural	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8)	Transporte rodoviário dos produtos orgânicos	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8)
Utilização de água subterrânea	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 3 (3.9); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8)	Recrutamento de mão de obra valorizada	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 8 (8.3, 8.4, 8.5) 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 17 (17.7, 17.19)
Implantação da barreira ecológica	2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 8 (8.3, 8.4, 8.5) 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9) 17 (17.7, 17.19)	Intensificação da diversidade produtiva	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7) 8 (8.3, 8.4, 8.5) 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)
Implantação de agrofloresta	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Cumprimento do requerimento das normas legais	2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 15 (15.1, 15.2, 15.9); 17 (17.7, 17.19)

<b>Implantação de árvores frutíferas em pomar</b>	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Uso de excrementos animais como biofertilizante	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)
<b>Utilização dos resíduos orgânicos na alimentação dos animais</b>	4 (4.4, 4.7); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Utilização de trator na propriedade	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 3 (3.9); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8)
<b>Implantação da rotação de culturas</b>	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Compostagem com o resíduo de cana-de-açúcar	3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 15 (15.1, 15.2, 15.9)
	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5);		1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5);
<b>Implantação de variadas espécies</b>	2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Conformidade orgânica em certificação participativa	2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 17 (17.7, 17.19)
<b>Implantação de coberturas mortas</b>	3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	Criação de animais para subsistência	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 15 (15.1, 15.2, 15.9)

<p><b>Implantação de adubação verde</b></p>	<p>3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>	<p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>	<p>Consumo prioritário de produtos orgânicos</p> <p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>
<p><b>Redesenho do agroecossistema</b></p>	<p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>	<p><b>Alteração das formas de uso do solo</b></p>	<p>Tratamento dos efluentes gerados</p> <p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 6 (6.3, 6.6); 10 (10.1); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>
<p><b>Participação em feiras de produtos orgânico</b></p>	<p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3)</p>	<p><b>Abandono da utilização de agrotóxicos</b></p>	<p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7); 6 (6.3, 6.6); 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)</p>
		<p><b>Transparência do processo produtivo</b></p>	<p>1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 8 (8.3, 8.4, 8.5); 11 (11.4, 11.a); 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8); 17 (17.7, 17.19)</p>

	1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7)		1 (1.1, 1.2, 1.3,1.4, 1.5); 2 (2.1, 2.2, 2.4, 2.5); 3 (3.9); 4 (4.4, 4.7)
<b>Implantação de cultivos consorciados</b>	6 (6.3, 6.6); 8 (8.3, 8.4, 8.5) 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)	<b>Disponibilização de alimentos orgânicos</b>	8 (8.3, 8.4, 8.5) 10 (10.1); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9); 17 (17.7, 17.19)
<b>Engajamento como unidade familiar de produção</b>	5 (5.5)	<b>Igualdade na capacitação profissional</b>	5 (5.5)
<b>Destinação dos resíduos sólidos para reciclagem</b>	4 (4.4, 4.7) 6 (6.3, 6.6); 11 (11.4, 11.a) 12 (12.2, 12.4, 12.5, 12.8) 13 (13.1, 13.3); 15 (15.1, 15.2, 15.9)		

Conforme exposto no Quadro 1, foram 33 ações socioambientais realizadas em prol da produção orgânica, passíveis de vinculação direta com os ODS, explicitando essa busca competente, planejada e transformadora da Agenda 2030 amparada pelos camponeses, sua necessidade de mudança de paradigmas e visionária realidade local.

Os ODS relacionados contabilizam 13 do total de 17. Os ODS 12 “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis” e 15 “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade” estão presentes em maior frequência na realização da agricultura orgânica,

relacionados, respectivamente, com 31 e 21 ações socioambientais identificadas. Se destacam, ainda, pela grande frequência, os ODS 11, 3, 13, 6, 1, 2 e 8, respectivamente.

Das 169 metas dos ODS, apresentadas como os novos desafios da comunidade internacional, 32 metas foram levantadas como possíveis de serem atingidas na contribuição da produção agroecológica, evidenciando o potencial da agricultura orgânica no cenário político global de sustentabilidade e a ampla conveniência socioeconômica e ambiental na realidade local dos agricultores familiares.

Farrelly (2016), em sua meta-análise, apontou a contribuição da agroecologia das mais diversas maneiras em 10 dos 17 objetivos, na qual se destacou o ODS 2, o qual visa “Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável” no efeito benéfico de alimentos seguros e nutritivos em quantidades suficientes num manejo sustentável de produção. Esta afirmação corrobora com a produção orgânica e sua contribuição ecológica sustentável ao local de origem.

É inegável a contribuição da agroecologia como marco político importante na busca da realização dos ODS, e vale enfatizar a necessidade da propagação de uma política transversal, que consiga apoiar o pequeno agricultor baseado nesse modelo de agricultura (FARRELLY, 2016). Tomando a política como aspecto fundamental e abrangendo seu amplo significado, a agroecologia difunde a percepção e compreensão do ambiente em escala local, com os grupos ecológicos, cooperativas e associações das comunidades, até o nacional, com exemplo da luta pela reforma agrária e movimentos sociais e na conquista de uma legislação própria, concedendo atuar a nível global, como no caso, com tantas metas dos ODS sendo atendidas pelas práticas da agricultura orgânica.

A desigualdade social interfere nas questões ambientais, pois os

menos favorecidos têm maior tendência em sofrer as consequências ambientais gerados nas práticas da agricultura convencional que afetam os bens naturais. Enquanto as classes sociais com maior poder econômico possuem possibilidades de escolha, de onde se instalar e buscar ambientes menos degradados, os menos favorecidos economicamente vivem, geralmente, em locais marginalizados, onde falta infraestrutura básica de vida e saneamento, acabando por sobrecarregar os recursos naturais disponíveis no entorno (REINIGER et al., 2017).

A questão da valorização da mulher está diretamente relacionada ao ODS 5, e foi apontado pela proprietária a sua participação nos grupos ecológicos organizados e o enaltecimento de seus conhecimentos empíricos. Assim sendo, a produção agroecológica atua no empoderamento feminino ao propiciar uma crescente participação das mulheres em espaços públicos e políticos, incentivando a saída do espaço doméstico e evidenciando maior independência e autoestima com a promoção de acesso à informação e com estratégias de garantia da autonomia econômica e política das mulheres, numa perspectiva de superação da divisão sexual do trabalho (MORONHAS et al., 2014).

Outro fator que corrobora a qualidade ambiental da produção agroecológica é que, inicialmente, o recurso hídrico total manipulado na propriedade era de origem subterrânea. E, somente após a implantação da agrofloresta e das outras técnicas de manejo sustentáveis, surgiu o afloramento de água que oportunizou a concepção do açude para o abastecimento da propriedade, melhorando a acessibilidade física ao recurso e confirmando o aumento da qualidade ambiental na realidade local.

A agrofloresta contribui para este brotamento de água por proporcionar o aumento da infiltração de água pluvial, devido a grande diversidade de plantas e seus sistemas radiculares que permitem uma es-

palhada, mas também profunda percolação que colabora intensamente na recarga de aquíferos subterrâneos (ANDREOTI, 2012). Para Barbosa et al. (2017) um sistema agroflorestal gera benefícios físicos e hídricos já no primeiro ano de cultivo, principalmente na capacidade do solo de armazenar e disponibilizar água.

## CONCLUSÕES

A agricultura orgânica representa ser uma alternativa promissora ao modelo convencional de produção de alimentos. A harmonia dos sistemas produtivos, através da escolha apropriada do plantio e a rotação de culturas favorece a produção agroecológica. Dentre as ações socioambientais desenvolvidas na propriedade visando favorecer a produção orgânica, 33 foram levantadas e vinculadas aos ODS, contribuindo para o alcance de 13 dos 17 objetivos propostos pela Agenda 2030. Ainda, das 169 metas dos ODS, 32 metas foram levantadas como passíveis de atendimento na contribuição da produção agroecológica, evidenciando o potencial da agricultura orgânica no cenário político global de sustentabilidade e a ampla conveniência socioeconômica e ambiental na realidade local dos agricultores familiares.

## REFERÊNCIAS

- Altieri, M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3 ed. São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão popular, 400 p., 2012.
- Andreoti, C. E. Avaliação da eficiência de um sistema agroflorestal na recuperação de um solo degradado por pastoreio. 121 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.
- Barbosa, F. R.; Silva, C. S. B. Da; Carvalho, G. K. de L. Uso de inseticidas alternativos no controle de pragas agrícolas. 2006. 46 p. Petrolina: Embrapa SemiÁrido, Documentos, 191. 2006.
- Barbosa, J. dos S. Atributos físico-hídricos de

um Cambissolo Húmico sob sistema agroflorestal no Planalto Catarinense. Floresta e ambiente: Flor@m revista eletrônica, v. 24, e. 20160251, 2017.

Brasil, Nações Unidas. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: 17 Objetivos para Transformar Nosso Mundo. 2021. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

Brasil, Decreto nº 7.794, De 20 de agosto de 2012. Institui a Política Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica, Brasília, 2012.

Farrelly, M. Contribuições da agroecologia para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Agriculturas: Agricultura familiar e agroecologia, Rio de Janeiro, v. 13, n. 3, p. 78-83, setembro, 2016.

Gliessman, S. R. Agroecologia: Processos ecológicos em agricultura sustentável. 3 ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS. 653 p., 2005.

Howard, S. A. Um testamento agrícola. 2 ed. São Paulo, SP: Expressão popular, 360 p., 2012.

Moronhas, M.; Schottz, V.; Cardoso, E. Agroecologia, trabalho e mulheres: um olhar a partir da economia feminista. In: Encontro da rede feminista norte e nordeste de estudos e pesquisas sobre mulher e relação de gênero, 2014.

Penteado, S. R. Agricultura orgânica. Especial. ed. Série produtor rural. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca e Documentação. 41 p., 2001.

Reiniger, L. R. S. Wizniewsky, J. G., Kaufman, M. P. Princípios da agroecologia. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, UAB, 2017.

Rosa, V. C.; Campos, de S. A agroecologia como mecanismo de efetivação dos objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil. Revista Eletrônica da Faculdade de Direito de Franca, v. 15, n. 1, p. 321-340, 2020.

Secours Catholique, Caritas France. Agroecology and Sustainable Development. Field Projects: Advocacy for Smallholders. Paris, França, 48 p., 2016.

Véras, M. L. M. et al. Influência da aplicação de urina de vaca em pimentão (*Capsicum annum* L.) em função de adubos orgânicos. Revista AGROTEC. Porto, v. 36, n. 1, p. 222-228, 2015.

# Monitoramento de carreamento de poluentes em superfícies urbanas impermeabilizadas: caso de estudo de uma zona comercial em Frederico Westphalen

Arci Dirceu Wastowski\*, Marcos Roberto Benso, Daniela Sartor, Genesio Mario da Rosa, Bruna Thais Lauer Grade

\*Universidade Federal de Santa Maria, wastowski@ufsm.br.

## RESUMO

O aumento populacional combinado com baixos investimento em controle de poluição são agentes agravantes da poluição dos corpos hídricos. O correto gerenciamento das águas pluviais envolve não somente aspectos quantitativos, mas também, aspectos qualitativos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de acumulação e carreamento de poluentes em superfícies urbanas, em uma zona comercial do município de Frederico Westphalen. Foram conduzidas coletas durante eventos pluviométricos em dois pontos situados em sarjetas. Foram calculados a concentração média do evento (CME) e a estimativa da ocorrência do fenômeno de first-flush para os parâmetros de DBO, DQO, Fósforo, NTK e SST. A CME para os parâmetros analisados demonstrou alto potencial poluidor das águas pluviais sendo que estas podem ser equiparadas a características de efluentes domésticos. Infere-se que o mecanismo de acumulação, neste trabalho dado pelo tempo de acumulação de poluentes em superfícies, cria condições propícias ao fenômeno de first-flush.

**Palavras-chave:** fenômeno de carga de lavagem. escoamento superficial. Carreamento de poluentes. Poluição difusa.

## ABSTRACT

Population growth combined with low investment in pollution control are aggravating agents of water body pollution. Proper stormwater management involves not only quantitative but also qualitative aspects. The objective of this paper was to evaluate the conditions of pollutants build-up and wash-off on urban surfaces in a commercial area of Frederico Westphalen. Samples were conducted during rainfall events at two sampling points, located in gutters. The mean event concentration (CME) and the estimated first-flush phenomenon for the BOD, COD, Phosphorus, NTK and SST parameters were calculated. The CME for the analyzed parameters showed a high pollutant potential of rainwater, which can be compared to the characteristics of domestic effluents. It is inferred that the accumulation mechanism, in this work given by the antecedent dry period of pollutants on surfaces, creates conditions conducive to the first-flush phenomenon.

**Key Words:** *First-flush phenomenon. Surface runoff. Pollutant loading. Non-point pollution.*

## INTRODUÇÃO

Embora as cidades já existam a milhares de anos, foi a partir do século XVIII que sua importância foi alavancada com o modo de produção capitalista da Revolução Industrial, permanecendo em constante crescimento populacional. A urbanização é um fato irreversível, tornando como fundamental a ênfase do tema da ecologia urbana (OLIVEN, 2010; SIRKIS, 2003). Segundo Philippi Jr. e Malheiros (2005) o chamado ecossistema urbano apresenta o maior grau de degradação do meio natural.

As modificações dos ecossistemas naturais decorrentes da ocupação dos espaços e da urbanização causam impactos que apresentam influência direta na qualidade ambiental, e conseqüentemente na qualidade de vida das pessoas.

Motivados pela preocupação dos assuntos referentes a deterioração do meio ambiente, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1991), criada em 1987, pela Assembleia Geral das Nações Unidas finalizou o documento intitulado de “Nosso Futuro Comum”, que conceituou desenvolvimento sustentável, “definido como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

A Organização das Nações Unidas (2015), aprovou em 2015, juntamente com a colaboração dos governos, da sociedade civil, de especialistas, setor privado, mídia e outros empenhados em promover um mundo mais sustentável, uma agenda para o desenvolvimento sustentável, conhecida como a Agenda 2030, que apresenta os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para trazer mudanças sociais, econômicas e ambientais na vida das pessoas.

Segundo Schussel (2004), o desenvolvimento sustentável apresenta a complexidade das inter-relações entre os ciclos da natureza, os processos globais que gerem a vida no planeta e as ações humanas que devem gerar uma teoria crítica sobre o futuro.

Água potável e Saneamento são o sexto ODS. Neste trabalho, dá-se enfoque ao saneamento, ou mais especificamente, a drenagem e manejo das águas pluviais que é parte do saneamento básico como define a Lei 11.445/07.

Muito se é abordado sobre os aspectos quantitativos do gerenciamento de águas pluviais, como por exemplo: o aumento das vazões de pico causadas pela impermeabilização do solo urbano (TUCCI, 2003) e alagamentos e inundações causados por infraestruturas de drenagem subdimensionadas (TASCA et al., 2017).

Em relação aos aspectos qualitativos das águas pluviais, trabalhos como o de Campana e Bernardes (2010) e Righetto, Gomes e Freitas (2017) buscaram avaliar grandes áreas de drenagem urbana tratando este tipo de poluição como difusa, obtendo uma quantificação do impacto gerado por esse escoamento. No entanto, cada vez mais é necessário compreender como os processos de acumulação e transporte de poluentes ocorrem em áreas menores caracterizando superfícies específicas, e.g., asfaltos em zonas comerciais, residenciais e industriais, como demonstraram Djukić et al. (2018), Hong et al. (2016) e Ali et al. (2017).

Tendo em vista a necessidade de melhorar o manejo de águas pluviais urbanas e atender os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, este trabalho objetiva avaliar as condições de carreamento de poluentes em superfícies urbanas impermeabilizadas, em uma zona comercial do município de Frederico Westphalen.

## CARREAMENTO DE POLUENTES ACUMULADOS EM SUPERFÍCIES

Superfícies urbanas como telhados, pavimentos e calçadas sofrem acumulação de poluentes pela deposição de partículas e compostos solúveis nas superfícies impermeáveis. Essa acumulação acontece durante os dias secos que antecedem a um evento de precipitação, chamado de período seco antecedente (PTSA). Contribuem para este processo: o trânsito de carros, pedestres, acondicionamento inadequado de resíduos sólidos (VAZE; CHIEW, 2002).

O carreamento de poluentes acumulados em superfícies urbanas é impulsionado por dois fatores: (i) as gotas de água da chuva atingem superfícies diretamente mobilizando materiais acumulados e estes são transportados devido à transformação de energia potencial em cinética o que gera neste tipo de escoamento uma maior capacidade física de desprender sedimentos e colóides retidos em superfícies rugosas (HUANG et al., 2015); (ii) a natureza impermeável das áreas urbanas permite que ocorra uma transformação de chuva em vazão (TUCCI, 2003).

De acordo com Djukić et al. (2018), os principais constituintes da poluição carreada pelo escoamento superficial em superfícies urbanas são compostos inorgânicos, minerais e sedimentos. E sua qualidade depende, principalmente, da intensidade do evento pluviométrico e do PTSA.

A avaliação de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram avaliados por Huang et al. (2007), Campana e Bernardes (2010), Temprano et al. (2006) e Chebbo e Gromaire (2004) considerando a contribuição de todo o sistema de drenagem de áreas maiores que 14 hectares. Esses dois parâmetros também foram utilizados nos trabalhos de Gnecco et al. (2005) e Silva (2014) que estudaram a acumulação e carreamento de poluentes em superfícies

asfálticas e telhados.

Outros parâmetros, como metais pesados, também foram estudados. Foram avaliados teores de chumbo (Pb), cobre (Cu), zinco (Zn) foram avaliados por Huang et al. (2007), Silva (2014), Gnecco et al. (2005) e Chebbo e Gromaire (2004). Demais parâmetros como Nitrogênio Total e Fósforo Total também foram avaliados.

## CARGA DE LAVAGEM (FIRST FLUSH)

O efeito de carga de lavagem (*First flush*), ocorre quando 80% da carga de poluentes é carregada nos primeiros 30% do evento pluviométrico (SAGET; CHEBBO; BERTRAND-KRAJEWSKI, 1996). Este fenômeno depende da intensidade do evento e das condições de acumulação de poluentes na superfície que é dada pelo PTSA (Modugno et al, 2015).

A definição de Geiger (1987) *apud* Huang et al (2006) é amplamente utilizada para determinar a ocorrência do fenômeno de carga de lavagem e para investigar essa ocorrência usa curvas da fração acumulada de poluentes em relação à fração acumulada de volume escoado. Quando a curva apresenta a máxima divergência do bissetor 45°, assume-se que o evento ocorreu. Essa definição foi usada por Bertrand-Krajewski, Chebbo e Saget (1997), Huang et al (2006), Temprado et al. (2006) e Modugno et al. (2015).

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em uma zona comercial do município de Frederico Westphalen noroeste do Rio Grande do Sul (Figura 1), no planalto da formação Geológica Serra Geral. O município de

acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2010), possui uma população total de 28.843 habitantes, sendo 23.333 residentes do meio urbano, ou seja, um equivalente de 80% da população.

O município está localizado na bacia do Rio da Várzea, afluente do Rio Uruguai. O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é Cfa (clima tropical úmido com verão quente). Dados pluviométricos horários foram obtidos pela estação meteorológica automática código A854 localizada no Campus da Universidade Federal de Santa Maria em Frederico Westphalen com Latitude  $-27.4^{\circ}$  e Longitude  $-53.43^{\circ}$ . Os dados foram disponibilizados pelo sistema de informação do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet).

**Figura 1**

**Localização dos pontos de análise em uma zona comercial do município de Frederico Westphalen, RS**



## PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

O procedimento de coleta de água do escoamento superficial foi adaptado do trabalho de Campana e Bernardes (2010). Para as coletas de escoamento superficial foram utilizadas garrafas PET de 600 mL.

Os pontos de coleta foram realizados próximos a avenida Arthur Milani que é bastante trafegada por veículos e pedestres por se localizar na região central do comércio de Frederico Westphalen conforme indicado na Figura 1 como Ponto 1 e Ponto 2, respectivamente.

## Determinação da Vazão

O cálculo da vazão ou capacidade de escoamento nas sarjetas foi realizado com a fórmula de Izzard (IZZARD, 1946) que é uma modificação da equação de Manning-Strickler para canais triangulares (Eq. 1).

Para isso foi medido previamente algumas características da sarjeta, tais como: inclinação longitudinal da via ( $l$ ), medido com auxílio de um GPS Oregon modelo 550; ângulo  $\theta$  entre o paralelepípedo a via em graus para calcular o parâmetro  $Z$  que é a recíproca da declividade transversal, ou seja, a tangente de  $\theta$ . O valor de  $\theta$  foi  $85^\circ$ ; o  $n$  é o coeficiente de Manning cujo valor adotado foi de 0,018 para concreto sem acabamento Chow (1988); e durante as coletas foi medido com uma régua a altura da lâmina de água na sarjeta ( $y_0$ ) para estimar a vazão instantânea no momento da coleta.

$$Q=0,375 \cdot (Z/n) \cdot l^{1/2} \cdot y_0^{8/3} \quad (1)$$

Em que:

$Q$  – Vazão ( $m^3/s$ );

$Z$  – Recíproca da declividade transversal (adimensional);

$n$  – Coeficiente de Manning (adimensional);

$l$  – Inclinação longitudinal da via ( $m/m$ ); e

$y_0$  – Altura da Lâmina d'água da sarjeta ( $m$ ).

## PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As análises laboratoriais foram conduzidas no Laboratório de Pesquisa e Análise Química – LABAQ localizado na Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen, RS. Os parâmetros da água de escoamento superficial foram analisados em laboratório pelo *Standard Methods of Avaliation of Water and Wastewater* estão contidos do Quadro 1, bem como a sua metodologia e equipamentos utilizados.

## INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

### Concentração média do evento

Foi utilizada a equação média do evento (EMC) que é consiste em realizar uma média ponderada da concentração dos parâmetros avaliados para que se possa estabelecer um meio de comparar os resultados obtidos com diferentes literaturas. A Eq. 2 apresenta a demonstração da fórmula do EMC conforme apresentado por Choe, Bang e Lee (2002), Brites e Gastaldini (2005), Huang et al (2006) e Temprano et al (2006).

$$EMC = \frac{\sum_{t=1}^n Q_t \cdot C_t}{\sum_{t=1}^n Q_t} \quad (2)$$

Em que:

EMC = concentração média do evento

$Q_t$  (mg/L) = vazão non instante t;

$C_t$  (m<sup>3</sup>/s) representam a concentração de poluentes no instante t.

## Estimativa de taxa de produção anual de carga de poluentes

Com base nos dados coletados, propõe-se neste trabalho o cálculo da taxa de produção anual de carga de poluentes é um meio de estimar a quantidade mássica de poluentes gerados por unidade de área em um determinado período. O seu cálculo se dá pela Eq. 3 (CHOE; BANG; LEE, 2002).

$$L = 1/100 \cdot C_v \cdot AR \cdot EMC \quad (3)$$

Em que:

L é taxa de produção anual de carga de poluentes (kg/ha·ano);

$C_v$  é coeficiente médio de escoamento superficial da área (adimensional);

AR é a precipitação anual média (mm/ano);

EMC é a concentração média do evento (mg/L)

Para a realização desta estimativa foram utilizados: o valor de AR foi obtida por dados do INMET; os valores de  $C_v$  foram obtidos através de uma média ponderada do valor do coeficiente de escoamento superficial das superfícies que estavam contidas dentro das áreas estudadas conforme Villela e Mattos (1990) *apud* Garotti e Barbassa (2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas coletas em três eventos pluviométricos entre novembro de 2015 a janeiro de 2016. Conforme mostrado na Tabela 1, foram monitorados eventos com tempo antecedente seco entre 2 a 92 horas e intensidade de precipitação entre 0,8 a 27,6 mm/h.

Tabela 1

## Características dos eventos pluviométricos observados

Data	Intensidade (mm/h)	PTSA (h)
25/09/2015	0,8	92
13/11/2016	27,6	39
03/02/2016	2,4	2

## AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ACUMULAÇÃO E CARREAMENTO DE POLUENTES

A quantidade de escoamento superficial é um dado muito importante no estudo em drenagem urbana, não só pelos problemas relacionados a alagamentos e inundações, mas também do ponto de vista de poluição, pois apenas com os dados qualitativos não se consegue estimar a descarga de poluentes gerada pelo local em estudo e nem mesmo a sua concentração. Estão resumidos na Tabela 2 os valores observados nos três eventos monitorados expressos em termos de concentração média do evento (CME).

Tabela 2

## Resumo dos dados coletados expressos em concentração média do evento (EMC)

Parâmetros	Unidades	Ponto 1			Ponto 2		
		25/09/ 2015	13/11/ 2015	03/02/ 2016	25/09/ 2015	13/11/ 2015	03/02/ 2016
pH	--	7,02	7,02	7,45	6,45	7,21	7,27
Turbidez	NTU	177,70	131,99	81,83	189,09	72,18	240,92
CE	μS/cm	177,70	22,1	62,50	594,10	64,91	78,61

NTK	mg/L	9,97	7,62	2,72	28,41	10,48	5,42
Fósforo Total	mg/L	>0,023	>0,023	0,051	0,061	>0,023	0,052
DQO	mg/L	342,73	74,77	205,64	827,02	90,83	168,03
Sólidos Totais	mg/L	370,61	476,06	361,18	409,54	238,60	371,21
Sólidos Suspensos	mg/L	258,66	392,91	187,49	441,93	198,20	122,65
Sólidos Dissolvidos	mg/L	111,95	83,15	173,69	171,29	40,39	248,57
Óleos e Graxas	mg/L	4,40	161,60	54,40	1,60	130,00	82,80
Detergentes	mg/L	0,25	0,08	0,06	0,37	0,12	0,06

A condutividade elétrica (CE) apresentou valores de 22,11 a 594,10  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Luca, Milano e Ide (1990) encontraram valores entre 72 e 445  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para uma bacia na cidade de Porto Alegre. Já os teores de nitrogênio, expressos em NTK, podem ser comparados aos encontrados por Choe, Bang e Lee (2002), 14,08 mg/L, em uma zona comercial e 6,81 mg/L, em uma zona residencial. Temprano et al. (2006) encontraram, em média, 8,45 mg/L de NTK em uma zona residencial. O fósforo e o nitrogênio estão ligados ao problema de eutrofização dos recursos hídricos, isto implica que o acúmulo em excesso destes nutrientes causa a proliferação de algas fotoautotróficas em ambientes aquáticos (BONSDORFF, 2021). Este desequilíbrio também está relacionado a consequências negativas para os organismos aquáticos como perda diversidade de zooplâncton afetando a integridade dos ecossistemas aquáticos (GUTIERREZ; SIMÕES; FRAU; SAIGO; LICURSI, 2020).

Os principais indicadores de poluição foram a DQO, o NTK, FT, sólidos, óleos e graxas e detergentes. Os dados encontrados se assemelham aos que Choe, Bang e Lee (2002) apontaram em estudos realizados em bacias residenciais, comerciais e industriais na cidade de Chongju, um

grande centro urbano na Coreia. Isto se deve ao fato que zonas comerciais possuem um fluxo maior de transeuntes e veículos, estas estão mais suscetíveis ao acúmulo de poluentes.

A avaliação a correlação entre os parâmetros observados obtida pelo coeficiente de correlação de Pearson pode ser visualizada na Tabela 3. O parâmetro condutividade elétrica possui uma correlação positiva com a DQO e NTK, entretanto esta correlação é de moderada a fraca com FT. Com isso, deduz-se que o aumento da condutividade tem uma relação estreita com o aumento dos poluentes carreados das superfícies urbanas. A DQO e o NTK também apresentam uma boa correlação, isso sugere que parte da demanda do oxigênio se dá pela estabilização de compostos nitrogenados.

**Tabela 3**

**Coeficientes de correlação de Pearson simples entre os parâmetros condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e fósforo total (FT)**

	CE	DQO	NTK	FT
CE	1			
DQO	0,892	1		
NTK	0,915	0,843	1	
FT	0,483	0,475	0,329	1

As concentrações medidas em EMC de alguns parâmetros puderam ser equiparadas às características de esgotos domésticos (Tabela 4). Para Jordão e Pessôa (2014) os esgotos podem ser caracterizados em fracos, médios e fortes conforme a concentração de alguns parâmetros. Isso vem a corroborar com a hipótese de que as águas pluviais são semelhantes a esgotos domésticos.

A discrepância entre os valores do Ponto 1 e 2 na primeira coleta ocorre devido à grande diferença de vazão observados entre os dois pontos. Neste sentido, o controle quantitativo das águas pluviais pode diminuir a geração de poluentes em áreas já consolidadas.

**Tabela 4**

**Comparação da DQO, SST, ST e NTK com referência à classificação de Jordão e Pessoa (2014) de esgotos fortes, médios e fracos**

Data	Ponto	DQO	SST	ST	NTK
25/09/2015	P1	Esg. Fraco	Esg. Médio	Esg. Fraco	-
	P2	Esg. Forte	Esg. Forte	Esg. Fraco	Esg. Fraco
13/11/2015	P1	-	Esg. Forte	Esg. Fraco	-
	P2	-	Esg. Fraco	-	-
03/02/2016	P1	Esg. Fraco	Esg. Fraco	Esg. Fraco	-
	P2	Esg. Fraco	Esg. Fraco	Esg. Fraco	-

Considerando que a média de precipitação anual, conforme estimado pela estação automática situada no município de Iraí-RS pelo INMET, é de 1983 mm, os coeficientes médios de escoamento superficial sejam 0,88 e 0,90, conforme Villela e Mattos (1980, apud GAROTTI & BARBASSA, 2010, p. 21), para o Ponto 1 e o Ponto 2, respectivamente, e o EMC a média dos três eventos de cada ponto, obtém-se uma estimativa para a taxa de produção anual de DQO, NTK, SST e FT em kg. A mesma estimativa foi feita por Choe, Bang e Lee (2002) e os valores foram menores, exceto para FT e DQO no ponto 1 (Tabela 5).

Esta estimativa é muito simplificada tendo em vista que foram realizadas apenas três coletas e por se tratar de uma extrapolação pode levar a resultados subestimados ou superestimados. Entretanto ela permite ter uma dimensão da quantidade mássica de poluentes que

é gerada em pequenas áreas urbanas e também denota a urgência de se tomar medidas de controle qualitativo de águas pluviais.

**Tabela 5** Estimativa de taxa de produção anual de poluentes em kg/ha/ano DQO

	DQO	SST	NTK	FT
P1	2444	4660	158	<1
P2	6168	4333	273	<1
Choe, Bang e Lee	3822	2111	107	14

Estes resultados demonstram a importância de se incorporar dispositivos sustentáveis para o tratamento de águas pluviais urbanas. Atualmente, o uso das tecnologias com design de baixo impacto ou do inglês *Low Impact Design (LID)*, vem sendo uma alternativa viável para a implementação de estratégias que visam o controle quali-quantitativo das águas pluviais urbanas as integrando ao conceito de desenvolvimento urbano sustentável (SUD) (FLETCHER et al, 2014). Estas técnicas incluem dispositivos que visam compensar os impactos da urbanização trazendo elementos da natureza para aumentar a infiltração da água no solo e desta forma mitigando os impactos da impermeabilização das superfícies urbanas (BRASIL et al, 2021, MACEDO; LAGO; MENDIONDO, 2019).

### **Análise do Fenômeno de Carga de Lavagem**

Observa-se na Figura 2 que no primeiro e no terceiro evento, exceto para Sólidos Suspensos Totais no Ponto 2, não ocorreu o fenômeno de carga de lavagem, pois o gráfico das frações entre o volume escoado e o volume carreado estão abaixo da linha bissetriz, i.e., o quociente entre a carga acumulada de poluentes e a carga volumétri-

ca, apresentaram-se superiores a 1.

As características das curvas da segunda coleta foram bem diferentes das demais, sendo que a ocorrência do fenômeno de carga de lavagem é evidenciada. Isso indica que intensidade da precipitação exerceu maior influência do que o período de tempo antecedente seco (PTSA) na ocorrência do fenômeno, pois apesar deste ter contribuído para uma maior acumulação de poluentes, eles só serão lavados nos primeiros instantes se o volume precipitado nos primeiros instantes possuir energia cinética o suficiente para carregá-los.

De acordo com Egodowatta, Thomas e Goonetilleke (2007), precipitações de 20 e 40 mm/h possuem capacidade de mobilizar, respectivamente, 25 e 40% dos sólidos acumulados em uma relação linear neste intervalo. Baseado nisso, a precipitação de 27,6 mm/h tem capacidade de mobilizar 33% dos sólidos acumulados. Isso corrobora o que foi encontrado por Zhang, Li e Dai (2015) e Modugno et al. (2015).

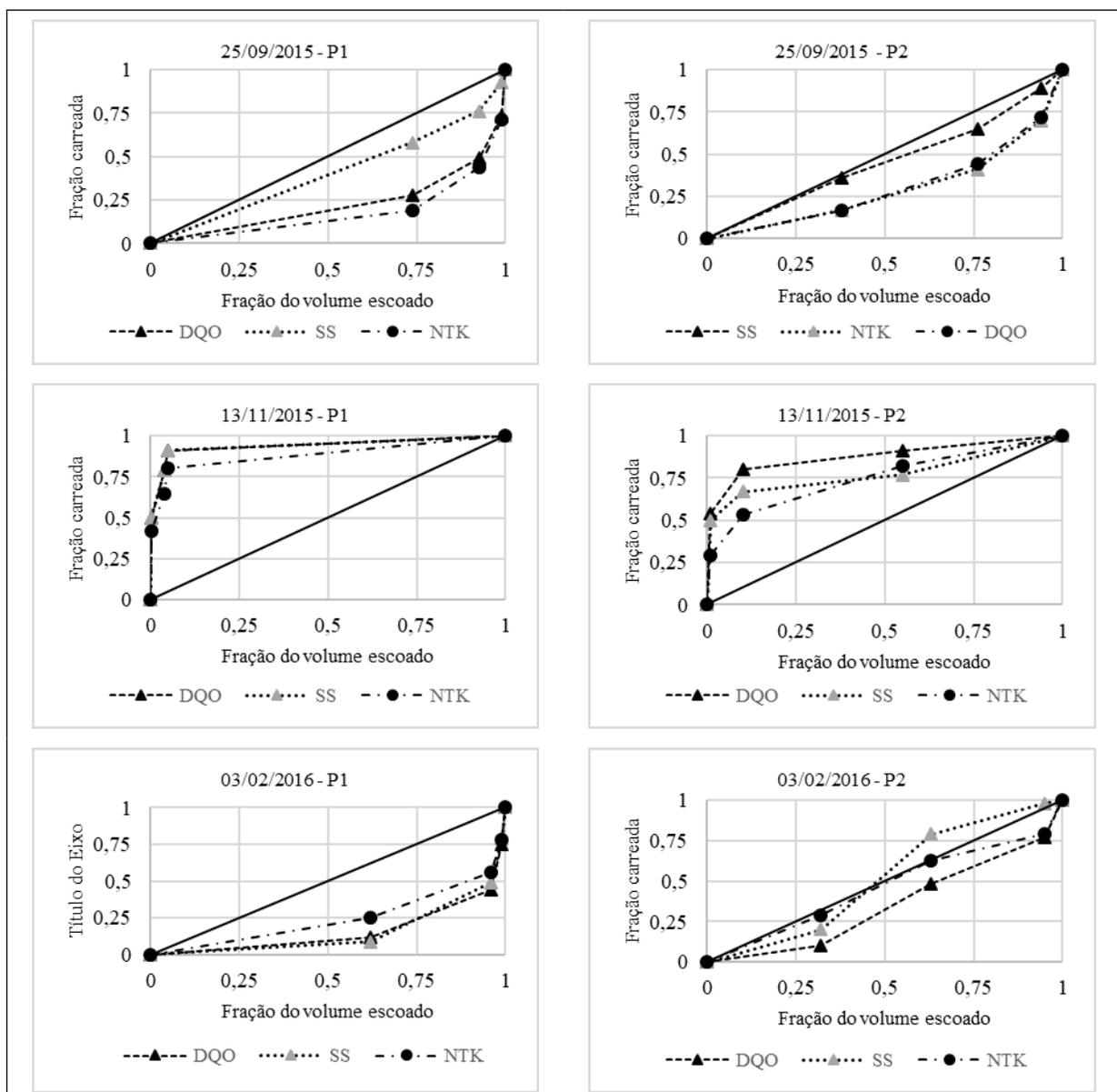
Huang et al (2006) comparando três eventos pluviométricos concluíram que os eventos de maior intensidade e maior período de tempo antecedente seco resultam em um fenômeno de carga de lavagem mais significativo. Modugno et al. (2015) observaram que em um evento com intensidade de 2,9 mm/h e período antecedente seco de 264 horas foi obtida uma proporção 30/40 entre carga poluente e carga volumétrica; e em um evento de 2,5 mm/h e um período antecedente seco de 465 horas foi obtida a proporção de 30/70, mostrando que as condições de acumulação de poluentes nas superfícies afetam a ocorrência do fenômeno.

Para Huang et al (2006) o nitrogênio, avaliado por NT, foi o único parâmetro que apresentou o fenômeno nos três eventos, o que levou os autores a concluir que o escoamento superficial no seu estágio inicial deve ser levado em consideração no controle das perdas de nitrogê-

nio durante eventos pluviométricos. Para Choe, Bang e Lee (2002) o nitrogênio, na forma de NTK, foi o parâmetro mais significativo em todos os eventos avaliados. Entretanto para Temprano et al (2006) o nitrogênio, avaliado na forma de NTK, apresentou variações entres os eventos avaliados sendo que foi o parâmetro que apresentou menor significância do fenômeno sendo que em todos os fenômenos avaliados a sua curva de acumulação interceptou em alguns pontos a linha bissetriz (1:1).

**Figura 2**

**Gráfico da carga cumulativa de poluentes versus a carga cumulativa de volumes nos três eventos observados e nos dois pontos de análise.**



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Com a aplicação da equação de Manning-Strickler modificada por Izzard (SERENCO, 2013) foi possível determinar indiretamente a quantidade de escoamento superficial medindo apenas o nível da lâmina d'água na sarjeta próxima ao ponto de coleta.

- A água pluvial ao entrar em contato com superfícies urbanas, como asfalto e calçamento, passou a adquirir parâmetros com concentrações características de esgoto sanitário, o que indica que a questão qualitativa da drenagem das águas pluviais deve se tornar, cada vez mais, objeto de preocupação na elaboração dos planos de saneamento. Neste sentido, a redução da vazão utilizando reservatórios pode reduzir a carga de poluição produzida em áreas urbanas em pontos já consolidados. Em novos loteamentos, a redução do coeficiente de escoamento superficial das áreas urbanas pode ser uma alternativa viável no controle de poluição ao passo que, além de reduzir a vazão, proporciona maior infiltração das águas o que contribui para a construção de espaços urbanos com balanço hidrológico mais próximo ao natural.

- O período de tempo antecedente seco influenciou na quantidade de sólidos em suspensão na atmosfera medido indiretamente com a determinação da coleta de água da chuva. Entretanto um coletor com medida de 200 mm não proporcionou uma quantidade de amostra adequada para precipitações menores que 2 mm.

- O período de tempo antecedente seco apresentou pouca influência na ocorrência do fenômeno de carga de lavagem, mesmo apresentando melhores condições de acumulação de poluentes nas superfícies urbanas.

- A intensidade da precipitação e, conseqüentemente, a quantidade de água pluvial escoada pelos dispositivos de drenagem urbana, por terem a capacidade de mobilizar os sólidos acumulados nas superfícies, apresentaram maior influência no fenômeno de carga de lavagem.

- Recomenda-se com a realização deste trabalho que pesquisas futuras busquem avaliar a implantação de dispositivos de baixo impacto para controle qualitativo e quantitativo de águas pluviais urbanas.

## REFERÊNCIAS

- ALI, Saja Al et al. **Investigation of the wash-off process using an innovative portable rainfall simulator allowing continuous monitoring of flow and turbidity at the urban surface outlet.** Science Of The Total Environment, [s.l.], v. 609, p.17-26, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.106>.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean-luc; CHEBBO, Ghassan; SAGET, Agnes. **Distribution Of Pollutant Mass vs Volume In Stormwater Discharges And The First Flush Phenomenon.** Water Research, [s.l.], v. 32, n. 8, p.2341-2356, out. 1997.
- BONSDORFF, Erik. **Eutrophication: early warning signals, ecosystem-level and societal responses, and ways forward.** Ambio, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-6, 3 fev. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-020-01432-7>.
- BRASIL, José; MACEDO, Marina; LAGO, César; OLIVEIRA, Thalita; MARCUS JÚNIOR,; OLIVEIRA, Tassiana; MENDIONDO, Eduardo. **Nature-Based Solutions and Real-Time Control: challenges and opportunities.** Water, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 651, 28 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w13050651>.
- CAMPANA, N.A.; TUCCI, C. E. M. **Previsão de Vazão em Macrobacias Urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 4, n.1, p. 19-34, 1999.
- CAMPANA, Nestor Aldo; BERNARDES, Ricardo Silveira. **Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF.** Revista de Gestão de Água da América Latina, [s.l.], v. 7, n. 2, p.53-65, jul./dez. 2010.
- CHEBBO, G.; GROMAIRE, M.c.. **The experimental urban catchment ‘Le Marais’ in Paris: what lessons can be learned from it?.** Journal Of Hydrology, [s.l.], v. 299, n. 3-4, p.312-323, dez. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.08.011>.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. Applied Hydrology. International Edition. McGRAW-HILL, 1988.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

DJUKIĆ, Aleksandar et al. **Build-up and characterisation of pollutants on urban impervious surfaces**. *Water Science And Technology*, [s.l.], v. 77, n. 8, p.2123-2133, 20 mar. 2018. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2018.128>.

EGODOWATTA; THOMAS; GOONETILLEKEE. **Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces**. *Science of the Total Environment*. 2009.

GNECCO, I. et al. **Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy**. *Atmospheric Research*, [s.l.], v. 77, n. 1-4, p.60-73, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.10.017>.

GUPTA, Kapil; SAUL, Adrian J.. **Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows**. *Water Research*, [s.l.], v. 30, n. 5, p.1244-1252, maio 1996. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00282-0](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(95)00282-0).

GUTIERREZ, María Florencia; SIMÕES, Nadson R.; FRAU, Diego; SAIGO, Miguel; LICURSI, Magdalena. **Responses of stream zooplankton diversity metrics to eutrophication and temporal environmental variability in agricultural catchments**. *Environmental Monitoring And Assessment*, [S.L.], v. 192, n. 12, p. 1-17, 26 nov. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-020-08766-5>.

HONG, Yi et al. **A new approach of monitoring and physically-based modelling to investigate urban wash-off process on a road catchment near Paris**. *Water Research*, [s.l.], v. 102, p.96-108, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.027>.

HUANG, J.; DU, P.; AO, C.; LEI, M.; ZHAO, D.; HO.; WANG, Z. Characterization of surface runoff from subtropics urban catchment. *Journal of Environmental Sciences, China*, v. 19, p. 148 – 152, 2007.

HUANG, Jinhui Jeanne et al. **The precipitation driven correlation based mapping method (PCM) for identifying the critical source areas of non-point source pollution**. *Journal Of Hydrology*, [s.l.], v. 524, p.100-110, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.011>.

IZZARD. **Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces**. In: PROCEEDINGS OF THE TWENTY-SIXTH ANNUAL MEETING OF THE HIGHWAY RESEARCH BOARD HELD AT WASHINGTON, 26., 1946, Washington. Proceedings... . Washington: Highway Research Board, 1947. p. 129 - 150.

LUCA, S. J. de; MILANO, L. B.; IDE, C. N.. **Rain and Urban Stormwater Quality**. *Water Science And Technology*, Kyoto, v. 23, n. 1, p.133-140. 1991.

MACEDO, Marina Batalini de; LAGO, César Ambrogi Ferreira do; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: potentials and challenges for water security in a subtropical catchment**. *Science Of The Total Environment*, [S.L.], v. 647, p. 923-931, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.002>.

MODUGNO, Maria et al. **Build-Up/Wash-Off Monitoring and Assessment for Sustainable Management of First Flush in an Urban Area**. *Sustainability*, [s.l.], v. 7, n. 5, p.5050-5070, 24 abr. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su7055050>.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL- ONU BR. **Secretário-geral da ONU apresenta síntese dos Objetivos de Desen-**

**volvimento Sustentável pós-2015.** Publicado em: 4 dez. 2014. Atualizado em: 01 set. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/secretario-geral-da-onu-apresenta-sintese-dos-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-pos-2015/> Acessado em: 28 set. 2019

OLIVEN, R. G. **Urbanização e mudança social no Brasil.** Isbn 978-85-7982-001-4, [s.l.], p.1-146, 2010. Centro Edelstein. <http://dx.doi.org/10.7476/9788579820014>.

PHILIPPI JR, A.; MALHEIROS, T.F. **Saneamento e Saúde Pública: Integrando Homem e Ambiente.** In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. 1 ed. 840 p. Barueri: Manole, 2005

RIGHETTO, Antonio Marozzi; GOMES, Kaline Muriel; FREITAS, Francisco Rafael Sousa. **Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 22, n. 6, p.1109-1120, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522017162357>.

SARTOR, James D.; BOYD, Gail B.; AGARDY, Franklin J.. **Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants.** Water Pollution Control Federation, [s.l.], v. 46, n. 3, p.458-467, mar. 1974.

SCHUSSEL, Zulma das Graças Lucena. **O desenvolvimento urbano sustentável: – uma utopia possível?.** Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 9, n. 1, p.57-67, jul. 2004.

SIRKIS, A., **O Desafio Ecológico das Cidades.** In: André Trigueiro (ed.), Meio Ambiente no Século 21, pp. 215-230, 2003. Editora Sextante.

TASCA, F. A.; FINOTTI, A.; POMPÊO, C. A.; GOERL, R. F. **O Papel Da Drenagem Urbana Na Prevenção De Desastres Hidrológicos Na Bacia Hidrográfica Do Rio Itaja-Açu.** Revista

Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 1, 23 jan. 2017.

TEMPRANO, J.; ARANGO, O.; CAGIAO, J.; SUÁREZ, J.; TEJERO, I. **Stormwater quality calibration by SWMM: A case study in Northern Spain.** Water SA, v. 32, n. 1 p. 55 – 63, 2006.

TUCCI, Carlos E. M.. **Drenagem urbana.** Cienc. Cult., São Paulo, v. 55, n. 4, p. 36-37, Dez. 2003. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso).

VAZE, J.; CHIEW, Francis H.s.. **Experimental study of pollutant accumulation on an urban road surface.** Urban Water, [s.l.], v. 1, n. 4, p.379-389, abr. 2002.

# Guia prático de auditoria ambiental: informações preliminares para empresas de pequeno porte

Filipe Leites Lopes (\*), Aline Ferrão Custódio Passini, Nilson Evilásio de Souza Filho, Willian Fernando de Borba, Bruna Thais Lauer Grade.

\* Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, filipeleiteslopes@hotmail.com.

## RESUMO

A auditoria ambiental passou a ser uma ferramenta essencial para o profissional que trata de questões ambientais, e familiarizar os profissionais das empresas com o este conceito é muito importante, e por isso pensou-se na criação do Guia Prático de Auditoria Ambiental. O Guia elaborado neste trabalho, é resultado de atividades de pesquisa e de aprendizado nas disciplinas de gestão do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. A ideia de criação deste guia, que resultasse em um documento geral de referência para aqueles que, de alguma forma, realizam auditoria ambiental para vários fins, surgiu da percepção dos autores quanto a necessidade de obter tal material para facilitar o entendimento de leigos em como iniciar o processo em suas empresas, além de mostrar a importância do Sistema de Gestão Ambiental como um todo. Analisou-se em estudos de caso, a necessidade de serviços ambientais, com isso, elaborou-se o questionário de pré-auditoria, com intuito de coletar informações específicas da empresa. Em seguida, construiu-se as listas de verificação de fácil preenchimento (**Check-List**), com intuito de construir o diagnóstico atual do empreendimento. Com o diagnóstico atual do empreendimento, desenvolveu-se o plano de ação simplificado, logo após, elaborou-se o guia prático de auditoria ambiental, como material referencial facilitando o entendimento do tema, contribuindo no início do gerenciamento ambiental em suas empresas.

**Palavras chave:** *Sistema de Gestão Ambiental, NBR ISO 14.001, NBR ISO 19.011, Listas de Verificação, Planos de Ação, Desempenho Ambiental.*

## ABSTRACT

Environmental auditing has become an essential tool for professionals dealing with environmental issues, and familiarizing company professionals with this concept is especially important, which is why we thought about creating the Practical Guide for Environmental Auditing. The Guide elaborated in this work, is the result of research and learning activities in the management disciplines of the Environmental and Sanitary Engineering course. The idea of creating this guide, which would result in a general reference document for those who, in some way, carry out environmental auditing for various purposes, arose from the authors' perception of the need to obtain such material to facilitate the understanding of laypeople on how start the process in their companies, in addition to showing the importance of the Environmental Management System as a whole. In case studies, the need for environmental services was analyzed, with this, the pre-audit questionnaire was prepared, to collect specific information from the company. Then, the checklists were easily completed (Checklist), to build the current diagnosis of the enterprise. With the current diagnosis of the enterprise, the simplified action plan was developed, soon after, the practical environmental audit guide was developed, as reference material facilitating the understanding of the topic, contributing to the beginning of environmental management in its companies.

**Key words:** *Environmental Management System, NBR ISO 14.001, NBR ISO 19.011, Checklists, Environmental Performance.*

## INTRODUÇÃO

No cenário atual, o Brasil tem se destacado bastante nos últimos anos quando o assunto é meio ambiente, muito se tem discutido sobre a importância do desenvolvimento sustentável para o país, levando as organizações a refletir sobre os impactos ambientais causados na sociedade atual e para as futuras gerações. Sendo assim, muitos empreendedores tem aderido a planos de ações baseados em programas de Gestão Ambiental para tornar-se ainda mais competitivo no mercado (ROSA, 2017).

Tendo em vista a crescente exigência do mercado e a competitividade entre as empresas, o Sistema de Gestão Ambiental participa sendo um instrumento eficaz no diagnóstico e propõe soluções viáveis na redução dos impactos ambientais gerados, fornecendo a melhoria contínua no sistema operacional em toda organização. Dessa maneira, possibilita a melhora da imagem da empresa, a eficiência no uso dos recursos naturais, a redução de custos, consolidando como uma ferramenta decisiva para pequenas empresas adquirirem competitividade no cenário nacional e mundial (PEREZ, 2014).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), criou o Sistema de Gestão Ambiental (SGA), com a finalidade de orientar no processo de gestão ambiental nas instituições. Para que se aplique a gestão ambiental de forma eficiente, leva-se em consideração todas as formas de impactos gerados e suas questões ambientais, com a participação da sociedade na discussão com o mercado, resulta-se em uma adesão em massa de empresas pela oferta de produtos alternativos que tenham um menor impacto ao cenário ambiental (FERREIRA et al 2015).

A Associação Brasileira de Bares e Restaurantes (ABRASEL) estabeleceu, um material no ano de 2006 intitulado de “Código de Conduta”,

com objetivo de orientar a atividade desenvolvida pelo setor alimentício e públicos interessados. O conteúdo foi baseado na definição de valores e princípios. O Código determina que todo restaurante deve agir em defesa do meio ambiente, através de projetos e ações de: uso racional de recursos naturais como água, energia e manipulação adequada dos resíduos; educação ambiental, prevenção; controle e remediação dos impactos ambientais (VIEIRA; FALCÃO; ZENAIDE, 2012).

Este trabalho tem como intuito principal, incentivar o uso de Sistemas de Gestão Ambiental em pequenas empresas do setor alimentício, visando a conscientização sobre a contribuição dos serviços ambientais para a redução dos impactos ambientais gerados e, conseqüentemente, os custos e despesas.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GERAL

Elaborar um Guia Prático de implementação de um Sistema de Gestão Ambiental, baseado em Auditoria Ambiental, como instrumento de gerenciamento e reflexão do desempenho ambiental da empresa.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Levantar Aspectos e Impactos Ambientais de uma pequena empresa do setor alimentício.
- 2) Identificar, sensibilizar e conscientizar empreendedores do segmento alimentício sobre a importância de serviços ambientais nas empresas.

- 3) Elaborar um modelo de Lista de Verificação (*Check-list*), prático de fácil aplicação em pequenos empreendimentos do segmento alimentício.
- 4) Identificar e propor sugestões de aprimoramento dos processos produtivos e desempenho ambiental da empresa.

## METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho, foram realizadas consultas à artigos científicos, monografias, dissertações de mestrado, teses de doutorados e sites de organizações específicas relacionadas a certificações ambientais. A classificação da pesquisa retrata aspectos relacionados quanto a sua natureza, quanto à forma de abordagem do problema, quanto aos objetivos e quanto procedimentos técnicos. Nesse contexto, a pesquisa consolidou-se como o modelo metodológico mais adequado para este trabalho.

Segundo Thiollent (2008), a pesquisa com base empírica e aplicada a resoluções de problemas coletivos, onde pesquisadores e participantes atuam diretamente na problemática de modo cooperativo ou participativo, é intitulada como pesquisa-ação. Segundo o mesmo autor, a pesquisa-ação desempenha um papel importante para os pesquisadores no seu enquadramento da problemática, no acompanhamento e na sua posterior revisão final.

A busca pelas palavras chave: “Sistema de Gestão Ambiental”, “NBR ISO 14.001”, “NBR ISO 19.011”, “Auditoria Ambiental”, na base digital *Scielo* (*Scientific Electronic Library Online*), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e Bibliotecas digitais de teses

e dissertações contribuíram para encontrar trabalhos relacionados ao tema e facilitaram a busca por uma informação de qualidade, para o melhor desenvolver deste trabalho. Além disso, os trabalhos apresentados como estudos de caso vem a corroborar com a importância da temática estudada, por isso mereceram atenção especial na discussão.

Com base nas informações científicas e acadêmicas, elaborou-se um guia prático de fácil implementação e linguagem, com a finalidade de identificação e quantificação dos impactos ambientais do local, a sensibilização e conscientização ambiental dos funcionários, além de ser útil para todos usuários que atuam em atividades que necessitam de uma maior preocupação com o meio ambiente, ou empresas que tenham uma visão proativa quanto ao desenvolvimento sustentável.

Para a elaboração guia citado, utilizou-se os programas *Microsoft Excel*<sup>®</sup> e *Power Point*<sup>®</sup> (2017). Neste material, consta um questionário de Pré-auditoria, instrumento que serve para orientar o processo de preparação da auditoria ambiental, tendo o objetivo de obter informações sobre o local, o conhecimento dos envolvidos, fornecendo assim a futura equipe de auditoria informações suficientes para a condução do processo.

Após o preenchimento do questionário de Pré-Auditoria, deve ser aplicado o *Check-list*, que foi formulado em um formato de planilha de fácil preenchimento e intuitivo, onde o usuário deverá preencher conforme o solicitado, informar qual atividade exerce, quais recursos ele utiliza para realização da atividade, qual é o produto final, quais resíduos se obtém no final do processo, dentre outras. Dessa forma, fica mais evidente a necessidade de implementação do SGA na empresa facilitando o entendimento sobre as problemáticas oriundas pela atividade ou produto gerado.

Após o preenchimento do *Check-list*, a equipe já terá um conheci

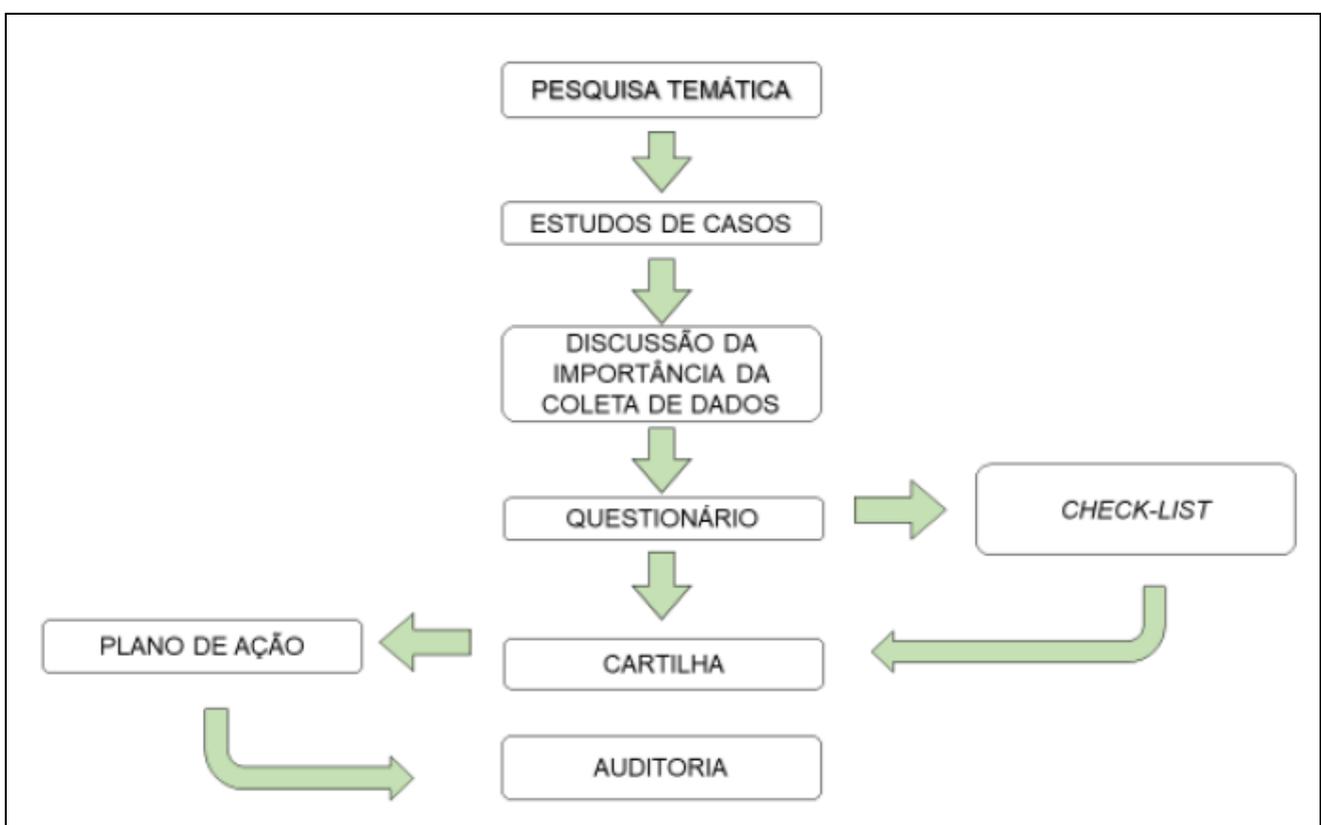
mento melhor das reais necessidades de melhoria do local, podendo então criar um Plano de Ação simplificado.

Por fim, o Guia Prático de Auditoria Ambiental completo torna-se um material de simples entendimento, que poderá ser utilizado por qualquer empresa, de qualquer ramo produtivo e porte. Este material pode facilitar o entendimento do processo produtivo, a conscientização do empreendedor quanto aos impactos gerados e sobre a importância de um serviço/produto gerado com melhor visibilidade ambiental no mercado.

Para melhor entendimento da metodologia proposta neste estudo, elaborou-se o fluxograma, apresentado pela figura 1.

**Figura 1** Fluxograma esquemático da metodologia da pesquisa.

Fonte: Autores do Trabalho (2020).



## RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, evidencia-se a finalidade de identificar, quantificar e conscientizar os responsáveis pela situação atual encontrada em cada empreendimento avaliado, expondo o diagnóstico atual das conformidades e não-conformidades, obtidas com a implantação do Guia prático de Auditoria Ambiental. Tais resultados serão verificados em decorrência das observações coletadas *in loco*, comparando as respostas contidas no questionário do material com as informações coletadas por meio do *Check-list*.

A conscientização dos responsáveis da empresa, associado ao treinamento de todo operacional, serão o coração do sistema, onde o treinamento terá como objetivo a conscientização de todos da equipe.

### ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

Entre os aspectos ambientais identificados, tem-se a problemática sobre o consumo de água, encontrada em três atividades de uma empresa. Para se ter o melhor uso deste recurso natural deverão ser realizados procedimentos técnicos de manutenção, e também a inserção de sensores remotos de consumo d'água, ou até mesmo reutilizar boa parte da água utilizada na lavagem dos alimentos na limpeza do estabelecimento, trazendo resultados positivos ao meio ambiente e ao caixa da empresa.

Estudos realizados por Acre e Castilho (2013) sugerem propostas de ações de gestão ambiental que podem ser conduzidas de forma prática e objetiva pelos próprios gestores, sendo necessário a elaboração de propostas de otimização para o consumo de água, como manutenções periódicas na rede de água, instalação de reguladores e reciclagem da

água, são sugestões que trazem benefícios e podem contribuir com a sustentabilidade ambiental do empreendimento.

Aliado a isso, SABESP (2010) orienta que a prática do uso correto da água evitando desperdícios, torna-se o diferencial competitivo entre as empresas modernas, aquecendo o mercado pela adesão de novas tecnologias e investimentos de ampliação de instalações de rede.

## QUESTIONÁRIO DE PRÉ-AUDITORIA

O questionário de Pré-Auditoria é um instrumento orientador para a preparação da Auditoria Ambiental, e tem por objetivo principal obter informações sobre a unidade a ser auditada, fornecendo a equipe de auditores um conhecimento suficiente de seus processos de produção e de como serão gerenciados os assuntos de saúde, segurança e proteção ambiental. Geralmente, o instrumento contém uma relação de quesitos visando a obtenção de respostas que esclareçam os procedimentos, rotinas, registros e responsabilidades da empresa.

A coleta de informações deve iniciar bem antes da auditoria *in loco*, por isso que este trabalho tem fundamental importância, pois atuará no conhecimento específico de auditoria ambiental, sistema de gestão ambiental para a empresa que necessitar. O questionário de Pré-Auditoria será utilizado como suporte à elaboração do Protocolo de Auditoria ou da Lista de Verificação (*Checklist*), que é o caso.

O modelo de questionário proposto (figura 2), deve ser utilizado como um guia para orientar e fornecer conhecimentos específicos para conduzir uma Auditoria Ambiental em uma empresa. Deve ser adaptado a cada auditoria, em particular em função dos objetivos, escopo, tipo de unidade industrial ou outras circunstâncias específicas.

**Figura 2****Questionário de Pré-Auditoria proposto no guia prático de Auditoria Ambiental.**

Fonte: Autores do Trabalho (2020).

1) Em qual área você atua (agrícola, comércio, indústria, extração, turismo, saúde, entre outras)?

2) Você utiliza ou necessita de serviços ambientais em seu negócio?

3) Você possui um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA)?

4) Quais materiais não possuem nenhuma finalidade são gerados em seu negócio (esgoto doméstico, restos de alimentos, papel, plástico, óleos)?

5) Quais recursos você utiliza (água, energia, pessoas, alimentos, entre outros)?

6) Você armazena materiais sem fins lucrativos?

7) Você lê as condicionantes da sua Licença Ambiental?

8) Você já tem ou precisa de alguma Certificação Ambiental?

9) Você destina algum material para o tratamento específico (aterro industrial, reciclagem, entre outros)?

10) Você tem uma Política Ambiental?

11) Você utiliza fontes renováveis de energia/água?

**LISTAS DE VERIFICAÇÃO – CHECKLIST**

Foram elaboradas tabelas para facilitar o preenchimento do **Check-list**, sendo que nestas, constam perguntas relacionadas à Política Ambiental, Desempenho Ambiental, Estrutura e Responsabilidade, Gerenciamento do Pessoal e Treinamento, Relações Públicas, Investimentos, Conformidade Legal, Setor Ambiental, Consumidores, Consumo de Energia, Material de Escritório, Consumo de Água, Esgotos Sanitários, Gestão de Resíduos, Emissões Atmosféricas e Gestão de Materiais, abordando de forma ampla toda a empresa, contribuindo para a construção do diagnóstico atual do empreendimento.

O **Check-list** além de facilitar na coleta de informações, colabora de forma holística toda a ideia de sensibilização ambiental realçando a importância do meio ambiente, com gestão cada vez mais sustentável,

incentivando a melhoria continua do sistema e agregando valor de mercado.

As oportunidades de melhorias identificadas e as recomendações para implantar um sistema de gestão ambiental eficiente embasado nos requisitos das normas NBR ISO 14001:2015 e NBR ISO 19011:2018. Todas as perguntas foram baseadas na experiência profissional do autor adquirida nas instituições público/privadas, onde se pode perceber a demanda em geral de informações relacionadas ao SGA e sua importância em diversas empresas.

Uma amostra do Checklist elaborado, para instruções do Guia Prático de Auditoria Ambiental pode ser visualizado no Quadro 1.

### Quadro 1 Checklist elaborado para o Guia Prático de Auditoria Ambiental.

Fonte: Adaptado de LA ROVERE, 2011.

Checklis	S	N	NA
A empresa tem documentada sua Política Ambiental abrangendo as questões relevantes?			
Foi aprovada e endossada pela direção e pelos seus acionistas?			
Considera fornecedores, clientes, comunidade local, grupos ambientalistas e outros agentes?			
Está acessível ao público?			
Define critérios de avaliação e revisão?			
Define investimentos para controle e proteção ambiental?			
Podem ser identificados os objetivos e metas da empresa quanto ao desempenho ambiental?			
A empresa identificou, claramente, os indicadores de DP?			
Existem programas visando à conformidade com exigências governamentais e com a melhoria do DP?			
Avalia-se o desempenho ambiental com relação aos objetivos e metas estabelecidos?			

Quais são os procedimentos de avaliação de DP?			
As metas ambientais incorporam os requisitos legais e corporativos?			
Promove-se a qualidade ambiental da empresa?			
A empresa tem identificado as necessidades de treinamento?			
A empresa tem a proteção ambiental como prioridade?			
A empresa acompanha o processo de normalização da série ISO?			
Todos estão cientes dos objetivos, metas, programas e responsabilidades ambientais?			
Os programas de treinamento e capacitação são monitorados?			
A política, as metas e o DP são comunicados aos empregados?			
Há algum tipo de incentivo para que os empregados participem, voluntariamente, das atividades ambientais?			
A estrutura organizacional é compatível com a melhoria do seu desempenho ambiental?			
As funções, responsabilidades e autoridades são definidas, documentadas e comunicadas?			
Há pessoal, em todos os níveis, informado e responsável pelas implicações ambientais de suas ações?			
A empresa analisa o DP de seus concorrentes?			
Há representantes para relatar à alta administração o DP do sistema de gestão ambiental, para análise crítica, como base para o melhoramento do sistema?			
Há sistema implantado ou certificado de qualidade?			
A empresa mantém procedimentos para comunicação interna entre vários níveis e funções da organização?			
Existem um departamento de relações públicas para comunicar o desempenho ambiental à comunidade envolvida com a empresa?			
As informações encontram-se em uma linguagem acessível?			

A empresa prevê consulta prévia com a comunidade local sobre algum projeto ou novos investimentos?			
São levadas em conta as reclamações da vizinhança de caráter ambiental?			
São registradas essas reclamações?			
Há procedimentos estabelecidos para responder às reivindicações da comunidade?			
Levam-se em consideração as despesas com o meio ambiente nos planos do orçamento?			
Consideram-se questões ambientais quando se trata de investimentos em novas áreas, em tecnologias, novos negócios?			
No caso em investimento em outros negócios é levado em consideração o desempenho ambiental?			
A empresa financia projetos de pesquisa e desenvolvimentos de novos processos e produtos ambientalmente saudáveis?			
A empresa patrocina alguma organização ou programa ambiental?			
Há alguém responsável pelo monitoramento dos custos ambientais?			
A empresa sabe o seu custo ambiental por unidade?			
A empresa tem cadastro atualizado junto ao órgão ambiental?			
Há Licença Ambiental envolvendo todas as atividades da empresa?			
As exigências da licença estão sendo cumpridas?			
A Licença Ambiental encontra-se dentro do prazo de validade?			
A empresa está atenta às modificações da política e das práticas das autoridades?			
Há um responsável técnico da empresa junto ao órgão ambiental?			
O responsável conhece a legislação vigente no Estado?			

O responsável recebeu treinamento específico para atuar na área?			
O responsável mantém atualizado o manual de meio ambiente?			
Na descrição do cargo do responsável pela área ambiental constam seus compromissos para o programa ambiental?			
Os consumidores estão adequadamente informados sobre o desempenho ambiental dos seus produtos?			
Os produtos da empresa recebem alguma forma de rotulagem ambiental?			
Há revisão periódica do uso de energia?			
A empresa utiliza o uso eficiente de energia?			
Há algum monitoramento do uso de energia?			
A empresa utiliza fonte de energia sustentável?			
Há registro das metas de eficiência e redução?			
Há equipamentos para melhorar a eficiência energética?			
A empresa sabe qual a quantidade de papel utilizado e quanto ele custa?			
Pode reduzir tanto o uso quanto os custos?			
Há algum incentivo para possibilitar a reciclagem?			
Há separação de diferentes tipos de papel usado antes do reuso ou reciclagem?			
Há monitoramento do suprimento de água e custos de esgotamento?			
Utiliza-se medidas para reduzir o consumo, modificando instalações sanitárias ou instalando restrições de vazão nas pias e chuveiro?			
Existem ações imediatas para reparar vazamentos de torneiras e tubulações?			
Há incentivo a reciclagem de água?			

Há política de redução ou otimização de consumo?			
Há programa de controle de perdas?			
Há responsável para gerenciar o controle de água?			
As ligações, tanto de rede de esgoto quanto de águas pluviais, são independentes e compatíveis com a rede de distribuição local?			
Há opções para minimizar esgotos sanitários?			
Os serviços públicos têm tratamento, ou são lançados em corpos d'água?			
Caso a unidade possua fossa séptica, é feita manutenção periódica?			
Há contaminação das águas pluviais por resíduos dispostos inadequadamente?			
Há registro da quantidade produzida de resíduos e métodos de disposição?			
Há segregação de resíduos na empresa para reciclagem?			
Outra empresa utiliza seus resíduos como matéria-prima?			
Há metas para reduzir a quantidade de resíduos gerados?			
Os resíduos são identificados e armazenados em área adequada?			
Existe a caracterização dos resíduos?			
Há classificação segundo a norma NBR- 10.004 da ABNT?			
A empresa mantém um arquivo de notas de venda de resíduos?			
A empresa mantém em arquivo o controle de descarte de resíduos sólidos?			
Estão identificadas e quantificadas as emissões para o ambiente oriundo da operação da empresa?			
Há metas de redução de emissões?			
Os equipamentos de controle da poluição atmosférica estão em perfeito funcionamento?			

É feita a manutenção preventiva destes equipamentos?			
Há planos de manutenção preventiva para os equipamentos de controle?			
A empresa considera a disposição final de seus materiais?			
A empresa possuiu alguma forma de selo verde nos seus produtos?			
A empresa conhece os impactos ambientais dos equipamentos e materiais?			
A empresa dispõe de fontes alternativas de matéria-prima?			
Há incentivo a reciclagem ou reuso dos materiais de embalagens?			

\*\*NOTA: S = SIM; N= NÃO; NA= NÃO SE APLICA

## PLANO DE AÇÃO SIMPLIFICADO

Para fornecer mais conhecimentos e informações sobre os processos produtivos, e para melhoria da mitigação dos aspectos ambientais identificados, torna-se fundamental a elaboração do plano de ação, sendo aplicado com objetivo de melhoria contínua da gestão do sistema (figura 3).

Como auxílio na questão dos aspectos e impactos ambientais, elaborou-se uma resumida matriz de aspectos e impactos ambientais referente a empreendimentos alimentícios, que irá ajudar a identificar as problemáticas e as oportunidades de melhorias no gerenciamento de cada empresa, conforme a figura 4.

Deste modo, como metas iniciais recomenda-se a redução de 10% do consumo de energia elétrica e água. O aumento do consumo pode variar devido ao maior fluxo de clientes no ambiente, resultando em uso de equipamentos como ar-condicionado, freezers, geladeiras, fornos, entre outros.

Figura 3

### Plano de ação simplificado para o guia prático de Auditoria Ambiental.

Fonte: Autores do Trabalho (2020).

PLANO DE AÇÃO				
Não-conformidades detectadas	Proposta de ações corretivas	Responsáveis pela execução	Recursos envolvidos	Prazo para execução

Fonte: Adaptado de LAROVERE, 2011.

Figura 4

### Matriz de aspectos e impactos ambientais para bares e restaurantes.

Fonte: Autores do Trabalho (2020).

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS									
ATIVIDADES	ASPECTOS								IMPACTOS AMBIENTAIS
	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	LANÇAMENTO DE EFLUENTES	CONSUMO DE GLP	LANÇAMENTO DE EFLUENTES (OLÉOS)	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	CONSUMO DE ÁGUA	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	
ILUMINAÇÃO	✓								REDUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS
FRITURAS		✓		✓	✓	✓			ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AUMENTA O EFEITO ESTUFA. OCUPAÇÃO DO ATERRO
COZIMENTO		✓		✓		✓	✓		ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AUMENTA O EFEITO ESTUFA. OCUPA ATERRO
EMBALAGENS		✓							OCUPAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
REFRIGERAÇÃO	✓								REDUÇÃO DA DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS
LAVAGEM			✓				✓		ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA
PREPARAÇÃO		✓					✓	✓	OCUPAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO, ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Desta forma, recomenda-se o uso consciente dos equipamentos objetivando na melhor eficiência energética no menor período, o uso de iluminação e ventilação natural como forma alternativa, atuando na

de energias alternativas como energia fotovoltaica e eólica, contribuíram na redução do consumo de energia elétrica.

A Propõe-se a redução inicial de 10% na geração de resíduos sólidos, considerando que na sua maioria são resíduos orgânicos provenientes de sobras de refeições, que poderão ser destinados para tratamento em aterros sanitários ou composteiras, levando em consideração que há ausência de dados históricos do empreendimento.

Para o consumo de Gás Liquefeito de petróleo, recomenda-se o uso consciente, tendenciando a redução parcial do consumo. Já para a produção de efluentes líquidos recomenda-se a destinação para um tratamento público, ou uso de fossa séptica.

Para óleos, recomenda-se o armazenamento em recipientes de vidro recicláveis ou garrafas pet, para posterior destinação ao tratamento adequado segundo a legislação ambiental.

Por fim, não menos importante, as emissões atmosféricas, recomenda-se o uso de equipamentos de controle de emissões atmosféricas, como por exemplo, os sistemas de lavadores úmidos e filtros de manga. São amplamente utilizados em restaurantes e empreendimentos alimentícios, pela sua alta eficiência, baixo custo de implantação, manutenção e operação.

## CONCLUSÃO

Diante do exposto, mostrou-se a necessidade de implantação do SGA, baseado na Auditoria Ambiental como instrumento de gerenciamento e reflexão do desempenho ambiental, contribuindo na construção do diagnóstico ambiental atual da empresa.

Conclui-se, então, que através da metodologia utilizada foi possível indicar os aspectos e impactos ambientais resultantes das atividades

do estabelecimento, com isso, é possível propor melhorias, a partir de metas, programas e planos de ação.

Com relação aos serviços ambientais, concluiu-se que, a gestão ambiental é um processo contínuo e adaptativo, e sua consolidação exige o comprometimento total de todos. Por outro lado, é vista como uma alternativa de investimento, favorecendo a redução de custos operacionais, e conseqüentemente, aumentando a receita do empreendimento, com a melhora da imagem da empresa, além de apresentar outros benefícios, tal como, o incentivo a aquisição de novos equipamentos, decorrentes da sensibilização e conscientização da alta administração.

Com a elaboração do *Checklist* prático e objetivo, espera-se conscientizar a todos da equipe da importância do gerenciamento ambiental do estabelecimento, com fácil aplicação. De modo que se consiga reduzir o consumo de água, energia, e o volume de resíduos gerados através das ações e procedimentos pré-definidos.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se a elaboração de novos estudos relacionados a outros modelos de empreendimentos, e a continuidade das ações relacionadas a Educação Ambiental, buscando a inserção de Sistemas de Gestão Ambiental aos demais segmentos de negócios.

## REFERÊNCIAS

ACRE, D. M.; CASTILHO, F. R. Gestão Ambiental aplicada ao setor gastronômico: proposta para Dourados-MS. **Rosa dos Ventos - Turismo e Hospitalidade**, v. 5, n. 2, p. 248-263, 2013.

FERREIRA, C. S et al. ISO 14001:2015 e ISO 9001:2015: **análise da relação entre as normas de sistema de gestão e a sustentabilidade empresarial**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 26, n. 4, e3906, 2019.

PEREZ, M, S. **SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL: Laboratório de Resíduos Sólidos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, Monografia**. Engenharia Ambiental, Campo Mourão-PR, 2014.

**RELATÓRIO ANUAL DE QUALIDADE DA ÁGUA** 2010 – Sabesp.

ROSA, J. H. **Sistema de Gestão Ambiental, base-**

**ado na norma ISO 14001: proposição em uma indústria de embalagens.** Monografia, Ciências Contábeis, Ijuí-RS, 2017.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia de Pesquisa-ação.** 16. Ed. São Paulo: Cortez, 2008.

VIEIRA, R. F. C.; FALCÃO, N. O.; ZENAIDE, H. F. de S. **Avaliação de aspectos e impactos ambientais e elaboração de um SGA: estudo de caso em uma churrascaria no município de Natal/RN.** In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. Resende - RJ, 2012. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/artigos12/36316809.pdf>>. Acesso em 19 de janeiro de 2021.