

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA A RESPEITO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DE TUBULAÇÕES DE PVC

*BIBLIOGRAPHIC REVIEW REGARDING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF  
PVC PIPES*

Data de aceite: 09/09/2022 | Data de submissão: 26/08/2022

**GONÇALVES, Rigley**, mestrando em engenharia civil

Universidade Federal de Catalão (UFCAT), Catalão, Brasil, E-mail: [rigley.matias@gmail.com](mailto:rigley.matias@gmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1229-0194>.

**PAULA, Heber**, doutor em engenharia civil

Universidade Federal de Catalão (UFCAT), Catalão, Brasil, E-mail: [heberdepaula@ufcat.edu.br](mailto:heberdepaula@ufcat.edu.br).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7066-1408>.

## RESUMO:

Um dos grandes resultados da COP26 foi o acordo firmado entre diversos países, incluindo o Brasil, em diminuir, até o ano de 2030, 30% da emissão de gás metano na atmosfera. Dessa forma, faz-se necessário identificar quais os encadeamentos da atividade humana que colaboram com a geração deste poluente e levantar ações que minimizem a sua liberação, para tal vem sendo realizados estudos sobre a ACV de materiais. Tendo em vista que a indústria de PVC está apresentando um crescimento acelerado no cenário mundial e que, nacionalmente, ela se sobressai na fabricação de tubos e conexões para a construção civil, esse trabalho tem como objetivo verificar a situação atual de pesquisas a respeito de ACVs de tubos de PVC por meio um mapeamento sistemático. Observou-se que esse tema ainda é pouco estudado no Brasil e que as principais fontes de emissão de gás metano correspondem aos processos fabricação das tubulações.

## PALAVRAS-CHAVE:

Tubos de PVC. Avaliação do ciclo de vida. Mapeamento sistêmico.

## ABSTRACT:

*One of the great results of COP26 was the agreement signed between several countries, including Brazil, to reduce, by the year 2030, 30% of the emission of methane gas into the atmosphere. In this way, it is necessary to identify which are the chains of human activity that collaborate with the generation of this pollutant and that minimize its release, so that they are being carried out on an LCA of materials. Considering that the PVC industry is showing an accelerated growth on the world stage and that, nationally, it is built on pipes and connections for civil construction, the work aims to verify the current situation of research regarding LCAs of PVC pipes. through a systematic mapping. It was observed that this topic is still little studied in Brazil and that the main sources of gas emission are sources corresponding to the manufacturing processes of pipes.*

## KEYWORDS:

*PVC tubes. Life cycle assessment. Systemic mapping.*

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG, 2021) no ano de 2020 os processos industriais e de utilização de materiais foram responsáveis por emitir 43 mil toneladas de metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera brasileira e, quando comparado com países como China, Rússia e Estados Unidos, essa quantidade quadruplica. Tal realidade fez com que autoridades mundiais assinassem, no ano de 2021, um acordo na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP26) garantindo a diminuição das emissões de gás metano em 30% até o ano de 2030 (FILKS et al., 2021).

A construção civil é considerada como uma das indústrias que mais emitem gases do efeito estufa (GEE), de forma indireta na extração de seus insumos, bem como de forma direta na execução de obras, por exemplo. Um material com destaque é o PVC (Policloreto de Vinila), um termoplástico que apresenta características amplamente variáveis em função de sua empregabilidade, fato este que o torna um elemento extremamente utilizado nos mais variados setores da economia (PIVA, 1999). Com isso, a Braskem (2021) estima para os anos entre 2020 e 2025 um crescimento de 4,5% da demanda mundial de PVC, e ainda, pontua que em 2021 a produção desse produto atingiu um total de 49 milhões de toneladas, a maior marca desde o surgimento do polímero. Dessa forma, enxerga-se que o processo de indústria/fabricação/utilização do PVC contribui com a degradação da camada de ozônio, seja na emissão de CH<sub>4</sub> ou outros GEE.

Uma técnica de gestão sustentável utilizada para estudar o comportamento ambiental de um material, processo industrial ou serviço ao longo de sua vida, englobando desde a aquisição da matéria-prima até a deposição final, é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou, em inglês, *Life Cycle Analysis* (LCA) (ABNT, 2001). Essa ferramenta é pautada por meio de modelagens computacionais do sistema produtivo industrial e utilização do produto, de acordo com parâmetros de caracterização, que quantifica as contribuições ambientais liberadas na atmosfera em cada etapa de processamento e mostra o potencial de impacto ambiental do material (MENDES *et al.*, 2013). Com isso, é possível elaborar planos estratégicos e otimizar as fases que mais contribuem com a degradação do meio ambiente.

Sabendo que, dentre suas diversas aplicações, o PVC, no Brasil, tem o seu maior destaque na fabricação de tubos e conexões para a construção civil (MONTENEGRO et al., 2020), este estudo tem por objetivo verificar o panorama atual de pesquisas que vêm sendo elaboradas a respeito da análise do ciclo de vida de tubos de PVC. Essa abordagem é justificada visto que o conhecimento das emissões vinculadas a cada etapa do ciclo de vida dos tubos de PVC permite a busca pela diminuição no lançamento dos GEE, contribuindo, assim, com o compromisso brasileiro em reduzir a disseminação do gás metano na atmosfera. A metodologia adotada apresenta comportamento exploratório, sendo caracterizada pela realização de um mapeamento sistemático (*mapping study*) para reconhecer o andamento de produções científicas em relação a temática.

## 2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A fim de identificar o andamento científico da questão abordada e revisar a literatura atual desenvolveu-se um mapeamento sistemático. Tal artifício consiste em uma busca estruturada para obtenção de artigos em fontes de dados

mundialmente renomadas utilizando-se de palavras-chave e operadores lógicos (BAILEY et al., 2007 e PETERSEN et al., 2008).

Conforme recomendado por Petticrew e Roberts (2008) a respeito da execução de mapeamento sistêmico, primeiramente definiu-se indagações centrais para nortear o desenvolvimento da pesquisa, sendo elas:

- I. Quais são as etapas do ciclo de vida dos tubos PVC?
- II. Quais os impactos gerados pelo processo de fabricação de tubos de PVC no meio ambiente?
- III. Quais as implicações que o transporte e distribuição de tubos de PVC gera na atmosfera?
- IV. Existem formas de minimizar as emissões geradas pela concepção das tubulações de PVC?

Tendo em vista os questionamentos levantados, foram utilizadas as bases de dados Scopus (2021) e Web of Science (2021), disponíveis na Universidade Federal de Catalão, visto que, de acordo com Zanghelini et al. (2016), esses dois bancos de dados apresentam alta incidência de acesso pela academia científica internacional e abrangem as principais revistas de publicações no ramo da ACV pelo mundo.

Dessa forma, as palavras-chave usadas na busca foram: (a) *life cycle analysis AND polyvinyl of chloride*, (b) *end-of-life AND PVC tubes* e (c) *inventory cycle analysis AND water pipeline*. Tais expressões foram adotadas de forma a englobar estudos a respeito de ACVs relacionadas com o material PVC com enfoque nas tubulações de PVC destinadas ao transporte de água. A busca de artigos foi limitada em publicações revisadas por pares e desenvolvidas entre os anos de 2000 e 2022, a fim de identificar estudos que melhor representam as condições ambientais e tecnologias da atualidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio do mapeamento sistemático obteve-se em um total de 138 artigos. Com isso, foi analisado os títulos aderentes ao tema e excluídos os que destoavam do objeto de estudo, além de remover aqueles que possuíam dupla publicação. Adiante, com a leitura dos resumos, identificou-se aqueles trabalhos que realmente poderiam contribuir ao assunto aqui estudado, foram considerados artigos que agregam a pesquisa aqueles que possuíam o resumo com relação direta às questões levantadas e traziam soluções para os questionamentos. A Tabela 1 mostra o resumo quantitativo dos resultados obtidos no mapeamento sistemático realizado.

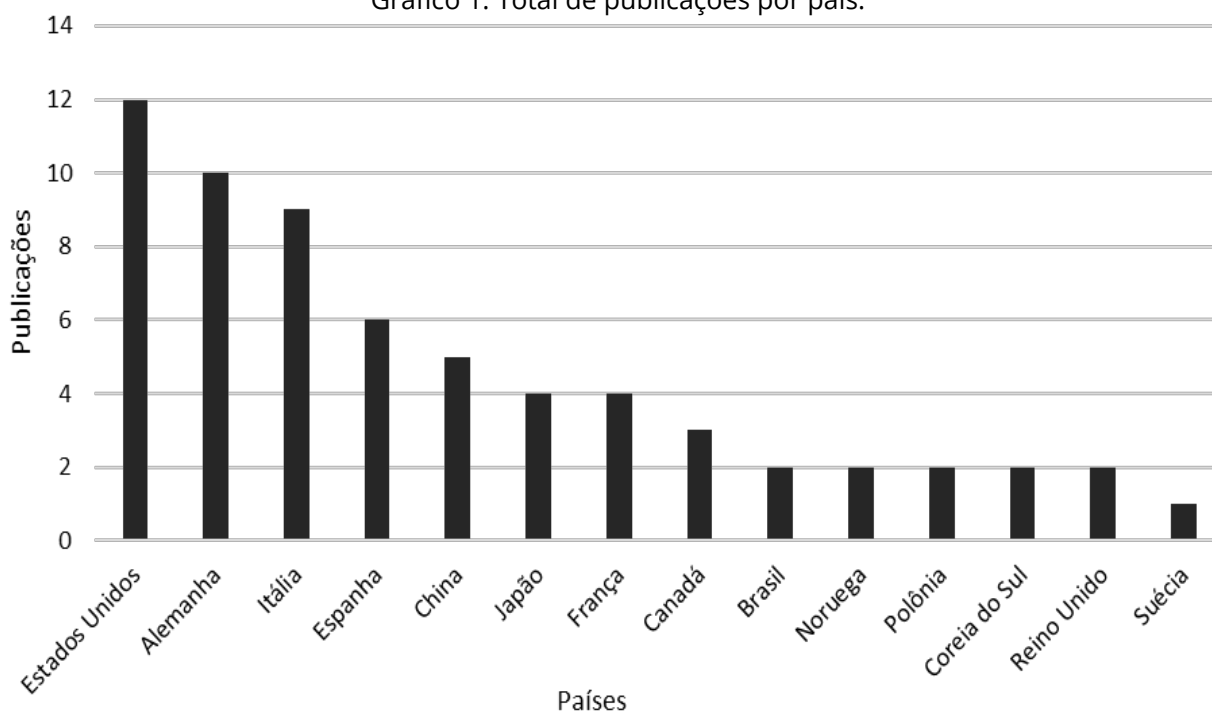
Tabela 1: Resumo quantitativo dos resultados do mapeamento sistemático.

Palavras-Chave	
<p><b>Bases de Dados:</b> Scopus (2021) e Web of Science (2021)</p>	
<p>1. "life cycle analysis" AND "polyvinyl of chloride"; 2. "end-of-life" AND "PVC tubes"; 3. "inventory cycle analysis" AND "water pipeline".</p>	
Número de Artigos	
Inicial	Títulos Aderente
138	112
Artigos selecionados após retirar repetições	73
Artigos selecionados após leitura do resumo	64

Fonte: Autores.

Os países como os Estados Unidos, Alemanha e Itália aparecem como as nações que mais desenvolveram estudos sobre a ACV de tubos de PVC para água fria entre os anos de 2000 e 2021, como mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Total de publicações por país.



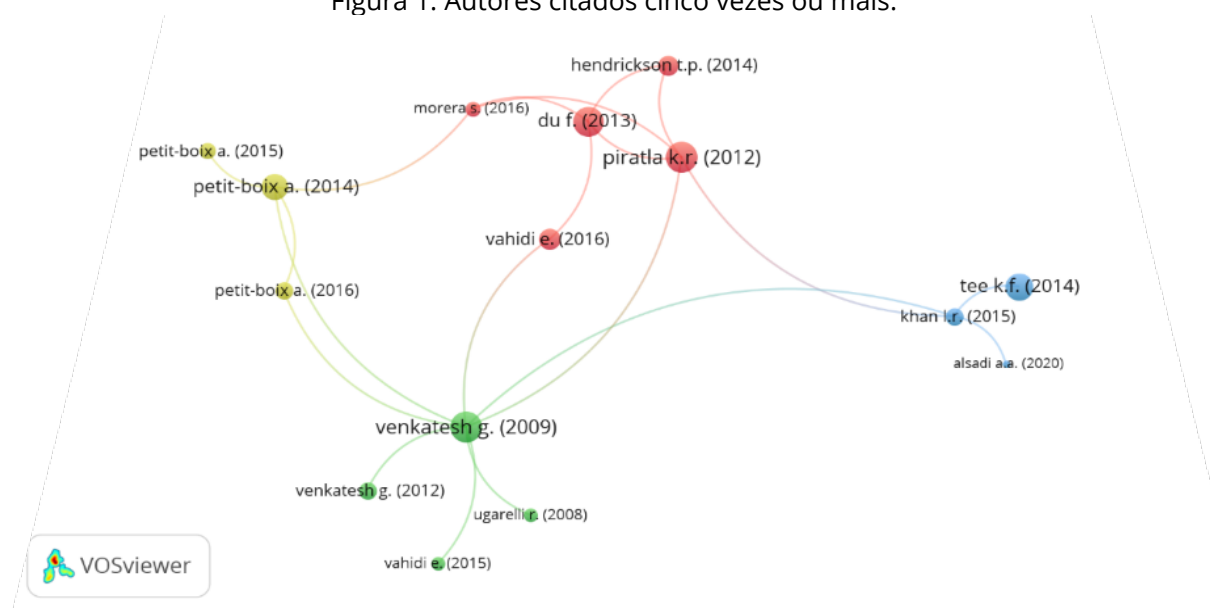
Fonte: Autores.

O Brasil acumula somente duas publicações que se relacionam com o assunto em estudo, desenvolvidas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade

Federal do Espírito Santo. Este cenário evidencia a lacuna de conhecimento sobre a temática no país, fomentando a necessidade de desenvolvimento de projetos que investigue a situação brasileira no tocante às contribuições climáticas da produção de tubos de PVC.

Com a finalidade de identificar quais são os estudiosos que vem contribuindo com o desenvolvimento de pesquisas e demonstram experiência consolidada nessa linha de análise, foi levantado quais são os autores citados mais de cinco vezes dentre os artigos selecionados. Na Figura 1 pode-se encontrar os pesquisadores identificados sendo que o tamanho de cada nó representa a quantidade de citações, ou seja, quanto maior o nó mais citado foi o autor, e as ligações entre cada nó diz respeito a casos de cocitação entre autores.

Figura 1: Autores citados cinco vezes ou mais.

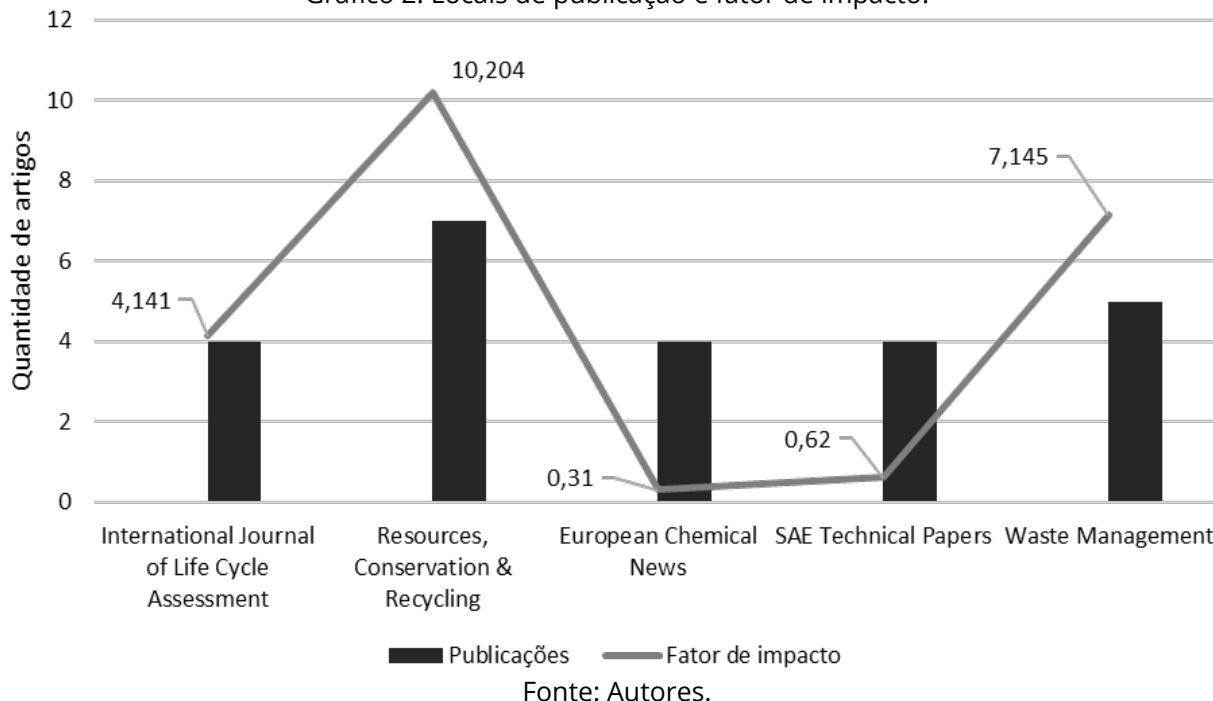


Fonte: Autores.

Como pode ser visto, Venkatesh et al. (2009), Du F. et al (2013), Piratla (2012), Tee (2014) e Petit-Boix (2014) são os que mais receberam citações e configuram como os pesquisadores que mais vem desenvolvendo conteúdo científico relacionados com a abordagem tratada nesta pesquisa. Vale ressaltar que a diferença de cores entre os autores está relacionada com as linhas de estudo e as relações entre um autor e outro. Ainda, cabe frisar que nenhum dos autores mencionados possui nacionalidade brasileira.

Outra análise realizada foi a identificação do meio de publicação dos artigos e a avaliação do fator de impacto (FI) dos mesmos, utilizando o *Journal Citation Report* (JCR, 2022) para a classificação. No Gráfico 2 encontra-se aqueles periódicos/revistas/jornais em que houveram, no mínimo, quatro publicações dentre os 64 artigos selecionados.

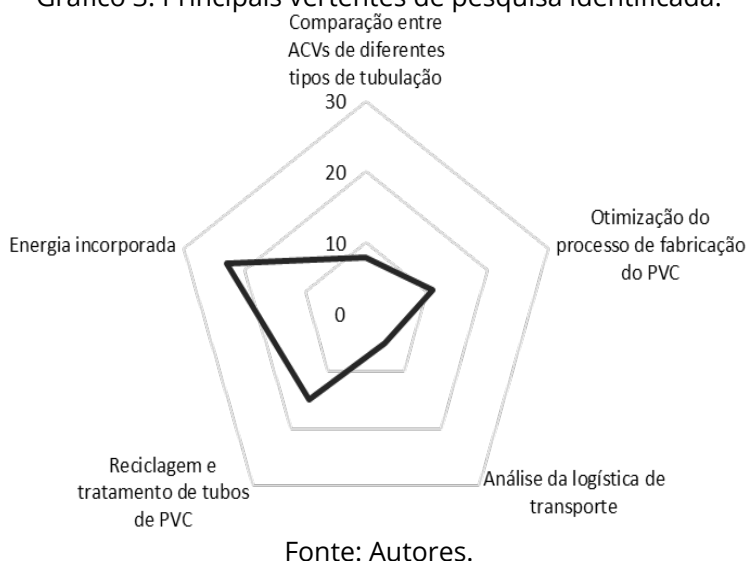
Gráfico 2: Locais de publicação e fator de impacto.



O FI de um meio de publicação de artigos é definido pela relação entre a quantidade de artigos citados e publicados nos últimos dois anos, sendo que quanto maior o número representativo, maior a importância e renome do periódico (PINTO; ANDRADE, 1999). No ano de 2021 a revista com o melhor fator de impacto na linha de sustentabilidade na engenharia equivaleu a 12,866 (JCR, 2021), o que mostra que as publicações sobre o tema estão vinculadas a periódicos/revistas/jornais de altíssima qualidade, repercussão e importância internacional, principalmente aquelas que estão no International Journal of Life Cycle Assessment e Journal Waste Management.

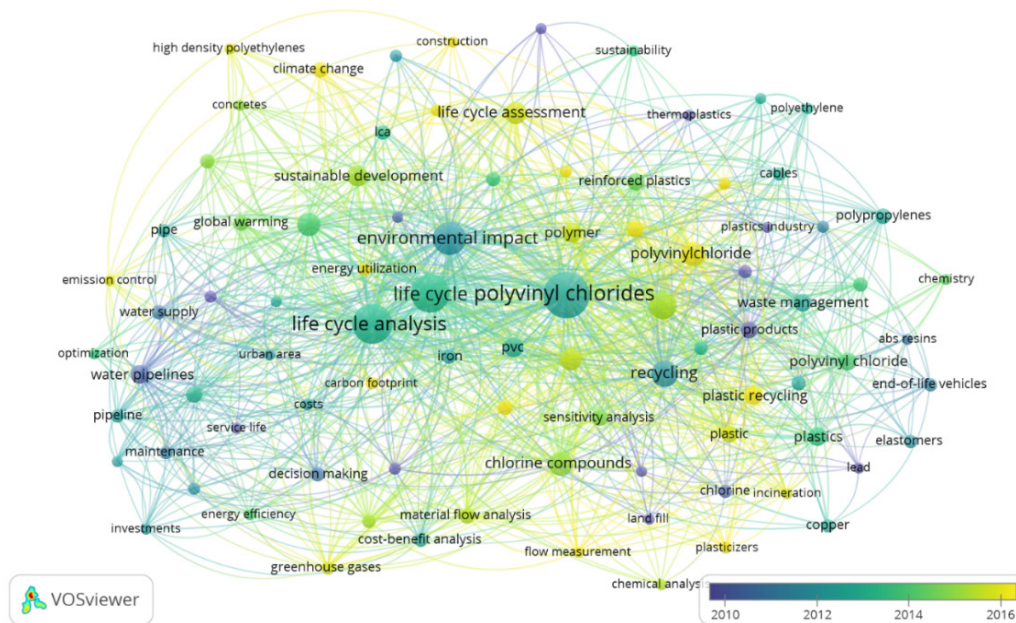
Dentre os artigos selecionados foram identificadas diversas vertentes de pesquisa, conforme Gráfico 3, sendo as principais linhas de estudo envolvendo a etapa de reciclagem e reuso de tubos de PVC e o estudo da energia de incorporação envolvida no ciclo de vida das tubulações.

Gráfico 3: Principais vertentes de pesquisa identificada.



Ainda, foi avaliado a ocorrência dos termos que não são palavras-chave, mas estão diretamente relacionados com elas. Essa análise é importante para estudos bibliométricos visto que permite a identificação de assuntos que trocam informações sobre o tema em questão (MUNIK et al., 2012), propiciando um entendimento amplo das interfaces de conhecimento interligadas ao tema em questão. A Figura 2 apresenta a rede de ocorrência de termos.

Figura 2: Autores citados cinco vezes ou mais.

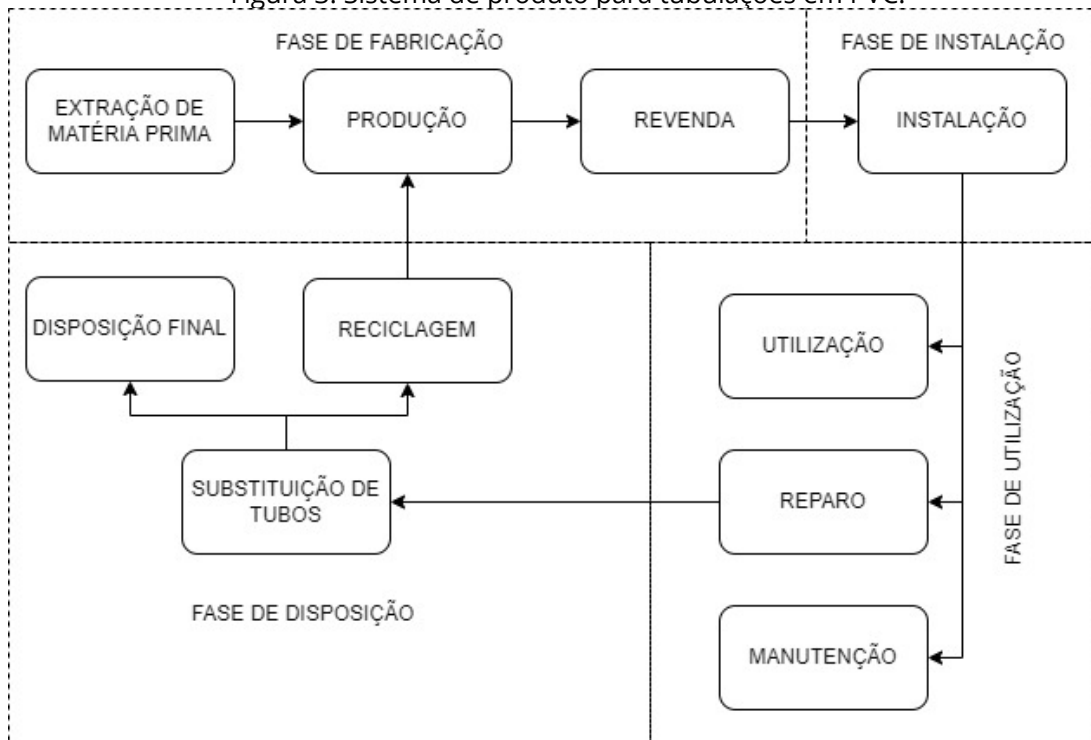


Fonte: Autores.

À medida que os nós vão crescendo maior é a ligação do termo ao tema de ACVs de tubos de PVC. As cores representam a mudança dos anos e as linhas interligando os nós tratam das relações entre um termo e outro. Por estarem intimamente correlatados com este trabalho destacam-se os termos: “environmental impact”, “polymer”, “recycling”, “energy utilization” e “sustainable development”.

Com relação às etapas da ACV de tubulações em PVC foi identificado, pelos estudos de Alsadi et al. (2020) e Vahidi et al. (2016), que o sistema de produto para esse material pode ser dividido entre quatro fases, sendo elas a fabricação, instalação, utilização e disposição, de acordo com a Figura 3.

Figura 3: Sistema de produto para tubulações em PVC.



Fonte: Alsadi et al. (2020) e Vahidi et al. (2016).

A fase de fabricação consiste na etapa inicial da ACV da tubulação, as matérias-primas do PVC são o cloro (Cl), advindo da eletrólise do cloreto de sódio (NaCl), e o eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), obtido por meio do craqueamento catalítico nas refinarias de petróleo (RODOLFO JR. et al., 2007). O principal processo industrial da produção de um tubo é a sua extrusão, essa metodologia configura na conformação da peça, a qual, ainda mistura, é forçada a passar através de compressão por uma matriz quente que molda a sua seção transversal, e, dessa forma, é nesse momento em que se define o diâmetro interno e externo das tubulações (CARVALHO, 2019).

Após a extrusão tem-se o resfriamento do tubo e a sua autenticação, instante onde se é colocado a patente do fabricante e informações como diâmetro, lote e data de produção (CALLISTER, 2016). A etapa de manejo é a responsável pela alocação dos tubos recém fabricados no local de armazenamento, acatando as respectivas recomendações das formas de alocação e proteção contra intempéries (ABPE, 2013). O ato da venda marca o fim da etapa de fabricação da tubulação.

Na fase de instalação é onde se tem a execução do projeto dimensionado, o que exige, de acordo com Piratla et al. (2012), uma mão de obra experiente e capacitada, procurando desenvolver um trabalho correspondente às exigências normativas e critérios de utilização.

A fase de utilização diz respeito ao desempenho das tubuções em relação às suas funções dentro da edificação. Essa etapa, conforme Piva e Wiebeck (1999), é a mais longa do ciclo de vida desse material, podendo chegar a até 200 anos quando implementadas às manutenções periódicas e técnicas de utilizações adequadas.

A fase final do ciclo de vida é a de disposição, onde se tem a destinação em aterros das tubulações que sofreram reparos ou foram substituídas. Ainda, para manter o sistema de produto em um processo cíclico, tem-se a alternativa de reciclar



o PVC, procedimento que recoloca um tubo danificado de volta ao processo de fabricação e o incorpora, novamente, ao emprego na edificação (BONELLI et al., 2005). É importante ressaltar que, conforme determinado por Pennafort Jr. et al. (2013), as propriedades mecânicas do PVC reciclado podem se mostrar inferiores àquelas de um PVC virgem, tendo em vista que o reprocessamento do material propicia um novo aquecimento, o que prejudica a estabilização das moléculas.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos por esta revisão bibliográfica tornou-se possível verificar que existe uma tendência de aumento nas publicações acerca da ACV de tubos de PVC ao longo dos anos, entretanto, observa-se que o desenvolvimento científico brasileiro a respeito deste tema ainda é bastante deficiente quando comparado com países desenvolvidos, configurando uma incerteza nas emissões de GEE advindas desse ciclo de produção e utilização no Brasil.

Nota-se que a maioria dos artigos tratam da reciclagem dos tubos de PVC, o que mostra uma maior preocupação com a última etapa do ciclo de vida do produto, entretanto, foi indicado que a destinação final não é a parte que mais impacta o meio ambiente, sendo requerido uma atenção maior para as fases de fabricação e distribuição do material.

Percebe-se que os estudos elaborados estão publicados em periódicos de grande importância e veiculação, ratificando a ideia de que os estudos acerca da ACV de tubos de PVC são de interesse mundial, contribuem com a disseminação das práticas sustentáveis e colaboram com a gestão ambiental.

As emissões de gás metano ainda é um assunto pouco tratado nas pesquisas, visto que essas tendem a abordar os quantitativos de emissão de gás carbono (CH<sub>2</sub>), o que colabora com o estudo na diminuição das emissões dos GEE, mas não serve de parâmetro para contribuir com a meta brasileira de reduzir em 30% a liberação de CH<sub>4</sub>.

Observou-se que as pesquisas já desenvolvidas apresentam respostas para os questionamentos apresentados, sendo que para (I) tem-se um modelo de ciclo de vida bem semelhante entre todos os abordados, ficando a maioria concentrados entre a aquisição de cloro e eteno, seus processos químicos para a obtenção da resina de PVC e a conformação dos tubos e a distribuição ao destino final dos tubos. Para o segundo questionamento (II) observa-se uma preocupação com a fase de eletrólise da água salgada, manejo do maquinário industrial e o transporte, sendo essas etapas apontadas pelas pesquisas como os processos que mais consomem energia e, conseqüentemente, geram emissões para a atmosfera. Quando tratado da questão (III), é observado que as soluções apontadas estão vinculadas diretamente com o local geográfico de estudo e os modais de transporte predominantes na região, sendo que a distribuição realizada por meio de trens, principalmente na Europa, apresentou menores taxas de emissão de GEE. A resposta para o último questionamento (IV) é ampla e variada, pois está relacionada com a disponibilidade de tecnologias e aperfeiçoamentos nos processos de fabricação, tendo destaque na utilização de equipamentos mais modernos que apresentem menores consumos de energia na extração das matérias-primas e nos processos de conformação dos tubos.

Por fim, a metodologia adotada se mostrou como uma boa opção para avaliar o

estado da arte do tema aqui tratado e cumpriu com o objetivo proposto, permitindo identificar as principais publicações e autores, além de mostrar que a vertente de estudo que aborda a logística de transporte para a distribuição dos tubos de PVC ainda é pouco estudada e pode ser configurada como uma lacuna de conhecimento, principalmente no âmbito científico brasileiro.

## REFERÊNCIAS

- ALSADI, A. et al. E. **Environmental Impact Assessment of the Fabrication of Pipe Rehabilitation Materials**. J. Pipeline Syst. Eng. Pract. 2020. DOI 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000395.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. ABPE. **As Indústrias de Transformação e Reciclagem de Plástico no Brasil**. 2022. Disponível em: [http://www.abiplast.org.br/wpcontent/uploads/2022/05/Preview\\_ABIPLAST\\_2021\\_web.pdf](http://www.abiplast.org.br/wpcontent/uploads/2022/05/Preview_ABIPLAST_2021_web.pdf). Acesso em: 21 de jun. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR ISO 14040:2001**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro - RJ. 2001.
- BAILEY, J. et al. Evidence relating to Object-Oriented software design: A survey. In: **First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement**. Computer Society, 2007, Madri. Anais. Madri: ESEM, 2007.
- BONELLI, C. M. et al. **Polímeros**. 15, p.256 (2005). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282005000400009>
- BRASKEM. **Relatório Integrado**. 2020. Disponível em: [https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/relatorio-anual/Braskem\\_RI20\\_20\\_PT.pdf](https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/relatorio-anual/Braskem_RI20_20_PT.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.
- CALLISTER, W D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução: Sergio Murilo Stamile Soares. 9. ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARVALHO, J. M. M. **Otimização de processos produtivos de extrusão**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2019.
- DU F., et al. Life cycle analysis for water and wastewater pipe materials. In: **Journal of Environmental Engineering**. Estados Unidos. 2013.
- FILKS, I., et al. COP26: Brasil assina compromisso global pela redução de emissão de gás metano em 30%. **CNN BRASIL**. 02 nov. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/paises-aderem-ao-pacto-de-reducao-de-emissoes-de-metano/>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- JCR. **Journal Citation Report**. Institute Scientific Information 2021.
- MENDES, N. C., et al. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos Palavras-chave. **Production**, 2013.
- MONTENEGRO, M., et al. **Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Heirich Böll. 2020. ISBN 978-65-87665-02-3
- MUNIK, J., et al. Uma análise de citações e co-citações em estratégia de operações em serviço: um estudo das empresas de projetos. **Revista Gestão Industrial**. V. 8, n. 2. 2012. DOI: 10.3895/S1808-04482012000200010.
- PENNAFORT JR. et al. **Avaliação e caracterização de tubos fabricados com PVC reciclado**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. São Carlos-SP, v. 23, n. 4, p. 547-551. 2013.
- PETERSEN, K, et al. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**. School of Engineering, Blekinge Institute of Technology. Universidade de Bari, Itália, 2008.
- PETIT-BOIX A., et al. Integrated Structural Analysis and Life Cycle Assessment of Equivalent Trench-Pipe Systems for Sewerage. **Water Resources Management**, 2016.
- PETTICREW, M.; ROBERTS, H. Systematic reviews in the social sciences: A practical guide. **John Wiley & Sons**, 2008.
- PINTO, A. C; ANDRADE, J. B. **Fator de impacto das revistas científicas: qual significado desse parâmetro?** Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000300026> Acesso em: 13 dezembro 2021.
- PIRATLA, K., et al. Estimation of CO 2 emissions from the life cycle of a potable water pipeline Project. 2012. **J. Manage. Eng.**, 28 (1), pp. 22-30., JMENEA 0742-597X 10.1061/(ASCE)ME.1943-

5479.0000069.

PIVA A. M.; WIEBECK H. **Reciclagem mecânica do PVC: uma oportunidade de negócio**. São Paulo: Instituto do PVC, 1999.

RODOLFO JUNIOR, A. et al. **Tecnologia do PVC**. Braskem, São Paulo. 2 ed. 2006.

SEEG. Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa. **Brasil**. Disponível em: [https://plataforma.seeg.eco.br/total\\_emission#](https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#). Acesso em: 15 jan. 2022.

TEE, K.F., et al. Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks. *Tunn. Undergr. **Space Technol***, 43, pp. 32-40. 2014.

VENKATESH, G et al. Combined MFA-LCA for analysis of wastewater pipeline networks. *J Ind Ecol*, 13 (4), pp. 532-550. 2009.

ZANGHELINI, G. M. et al. A bibliometric overview of Brazilian LCA research. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 1997, 2016.



## 02. Resistência, desempenho, problema e recuperação estrutural