SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

ANÁLISE DA PEGADA DE CARBONO NO TRANSPORTE DE TUBULAÇÕES DE PVC NO ESTADO DE GOIÁS

Analysis of the carbon footprint in the transportation of PVC pipes in the State of Goiás

Rigley César Matias Gonçalves[1]; Heber Martins de Paula[2]

Recebido em 11 de junho de 2023, aprovado em 19 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

RESUMO: O PVC é um dos termoplásticos mais empregado na construção civil e por isso exige uma logística de distribuição eficiente, prezando pelo cuidado com o meio ambiente. Sendo assim, esse trabalho analisou a pegada de carbono envolvida no processo transporte de tubos de PVC no estado de Goiás, sendo as cidades de Goiânia, Catalão, Jataí e Porangatu como destinatárias e uma fábrica de São Paulo como origem do percurso. Para atingir o objetivo proposto utilizou-se da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) modelada pelo *software OpenLCA* e as bases de dados *Ecoinvent v3.5* e *Industry Data v2.0*. As distâncias de transporte foram levantadas via Google Maps tendo a modalidade rodoviária como meio de locomoção. Verificou-se que a exportação de um metro de tubo emite, em média, 17 kg CO_2 e, ainda, a fase de transporte pode atingir uma participação superior a 35% em relação às emissões totais da fronteira estudada.

Palavras-chave:

Tubos de PVC

Logística de distribuição

Análise do Ciclo de Vida

ABSTRACT: PVC is one of the most used thermoplastics in civil construction and therefore requires efficient distribution logistics, taking care of the environment. Therefore, this work analyzed the carbon footprint involved in the process of transporting PVC pipes in the state of Goiás, with the cities of Goiânia, Catalão, Jataí and Porangatu as destinations and a factory in São Paulo as the origin of the route. To achieve the proposed objective, the Life Cycle Assessment (LCA) modeled by the OpenLCA software and with Ecoinvent v3.5 and Industry Data v2.0 databases was used. Transport distances were collected via Google Maps, using road as a means of transportation. It was verified that the export of one meter of tube emits, on average, 17 kg CO_2 and, furthermore, the transport phase can reach a participation greater than 35% in relation to the total emissions of the projected frontier.

Keywords:

PVC pipes

Distribution logistics

Life Cycle Assessment

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **GONÇALVES, Rigley César Matias**: Universidade Federal de Catalão, Av. Pedro Paulo de Sousa, N. 1235, Setor Goiânia 2, Goiânia, Goiás, rigley.matias@gmail.com

[2] **PAULA, Heber Martins de**: Universidade Federal de Catalão (UFCAT), heberdepaula@ufcat.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Dentre os materiais plásticos fabricados no Brasil, o policloreto de vinila (PVC) é o mais disseminado em termos de produção e utilização (ABIPLAST, 2022), seja pela sua versatilidade ou seu custo-benefício. Esckilsen (2008) aponta que a construção civil e, especificamente, a fabricação de tubos e conexões para a execução de sistemas prediais são os principais mercados de aplicação do PVC, superando as industrias calçadista e de embalagens.

Os impactos ambientais associados à indústria da construção civil têm sido objeto de amplas discussões em todo o mundo. A busca pela sustentabilidade ambiental é atualmente o objetivo de muitos projetos arquitetônicos. Uma forma de medir a sustentabilidade ambiental de edificações e seus materiais e/ou processos é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Por meio dessa metodologia é possível realizar a quantificação de emissões de dióxido de carbono (CO_2) ao longo da fabricação e do transporte dos materiais e componentes de construção.

O CO_2 é apontado como o principal gás causador do aquecimento global e é um dos problemas ambientais mais discutidos atualmente e, portanto, há uma urgente necessidade da diminuição das emissões desse gás na atmosfera. Dessa forma, propõe-se neste estudo investigar qual o quantitativo de CO_2 liberado no processo de transporte, por meio de caminhões, para a entrega de tubos de PVC no estado de Goiás. O reconhecimento da quantidade de dióxido de carbono envolvido nesse processo colabora na busca do desenvolvimento sustentável e auxilia a tomada de decisões para se obter uma logística de distribuição com menores impactos ambientais.

Para atingir o objetivo pretendido será utilizada a técnica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), estratégia de gestão sustentável usada para estudar o comportamento ambiental de um material, processo industrial ou serviço ao longo de sua vida (ISO, 2014). 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 (TILMAN, 2000). Com isso, é possível elaborar planos estratégicos e otimizar os processos que mais contribuem com a emissão de substâncias tóxicas.

2 METODOLOGIA

Essa pesquisa é delimitada ao estudo da influência do transporte no ciclo de vida de tubulações de PVC movimentadas no estado de Goiás. Sobre o ponto de vista metodológico, em função da abordagem de análise, esse estudo é classificado como qualitativo e quantitativo, tendo em vista que o objeto estudado consiste em descrever, qualificar e quantificar o processo de transporte das tubulações e as emissões advindas dessa etapa do ciclo de vida desses materiais (SILVEIRA e CÓRDOVA, 2009).

Em relação aos objetivos, pode-se classificar essa pesquisa em descritiva aplicada, onde é realizada a análise e interpretação dos fatos sem a interferência do pesquisador, tal qual determinado por Barros e Lehfeld (2007). Faz parte dos procedimentos metodológicos a utilização de bases de dados internacionais que representam a realidade ambiental da indústria e do comércio externo entre nações.

A avaliação das informações levantadas será realizada a partir da interpretação crítica dos resultados obtidos, o que envolve o entendimento da causa e efeito da ocorrência de

fenômenos, assim como a influência de diversas variáveis sobre a intensidade de ocorrência dos mesmos.

Para identificar o quantitativo de CO_2 envolvido no transporte de tubulações de PVC no estado de Goiás e buscando uma melhor amostragem da real situação goiana na distribuição desses materiais, foram escolhidas quatro cidades, uma em cada região de Goiás, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Cenários de estudo

Cidade	Região do estado
Goiânia	Centro
Catalão	Sudeste
Jataí	Sul
Porangatu	Norte

Fonte: Próprios autores (2023)

Para a determinação da fábrica de tubos de PVC mais próxima aos cenários avaliados foram utilizadas aquelas qualificadas pelo Programa Setorial da Qualidade (PSQ) de Tubos e Conexões de PVC para Sistemas Hidráulicos Prediais, desenvolvido pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H) (BRASIL, 2022), que tem por finalidade a comprovação da qualidade de materiais e o cumprimento às normas brasileiras quanto a eficiência e produtividade.

Vale considerar que podem existir outras empresas e filias localizadas que não foram contabilizadas nesse levantamento, tendo em vista o parâmetro de busca exposto e adotado nessa pesquisa.

Em posse da relação dos fabricantes e seus respectivos endereços foi possível verificar a distribuição das fábricas pelo país e as distâncias de transporte do PVC até as cidades goianas. Tendo em vista que, quanto maior o percurso maior será as emissões de gases poluentes na atmosfera, as fábricas utilizadas para cada cenário serão determinadas levando em consideração aquela que mais se aproxima da cidade em questão.

O modal rodoviário será adotado nesse estudo, tendo em vista que ele é o mais utilizado no continente sul-americano para o escoamento de mercadorias entre países. Dessa maneira, assumiu-se um caminhão de dois eixos transportando uma carga de lotação máxima.

As distâncias entre fábrica e as cidades foram determinadas por meio do Google Maps (2023), sendo a origem preenchida pelo endereço da fábrica e o campo de destino pelo nome da urbe. Verificou-se que o fabricante mais próximo está localizado na cidade de Cedral, estado de São Paulo. As distâncias entre a fábrica e as cidades estudadas podem ser observadas na Tabela 1.

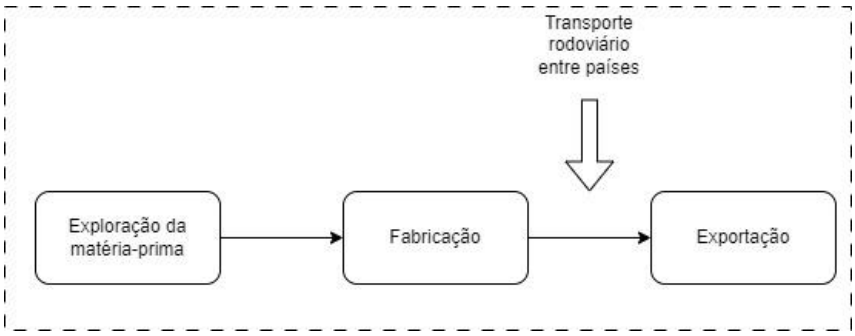
Tabela 1 – Distâncias entre a fábrica e os cenários de estudo

Cidade	Distância de transporte (km)
Goiânia	534
Catalão	410
Jataí	555
Porangatu	1054

Fonte: Próprios autores (2023)

A fronteira de estudo da ACV é constituída conforme a Figura 1, compreendendo as etapas de exploração das matérias-primas, fabricação e exportação, sendo o processo de transporte enfatizado quanto às suas emissões tóxicas. A ACV será modelada na unidade funcional de 6m lineares de tubo de PVC, sendo desconsideradas quaisquer conexões, junções, adesivos de união e anéis de vedação.

Figura 1 – Sistema de produto dos tubos de PVC



Fonte: Próprios autores (2023)

O *software OpenLCA* foi utilizado para o desenvolvimento da ACV, tendo em vista que possui utilização gratuita, interface intuitiva e disponibilidade de licença estudantil para utilização dos bancos de dados disponíveis (PAMU *et al.*, 2022). Esse programa computacional possui desenvolvimento funcional, em que o usuário informa quais são as matérias-primas (entradas) que formam a composição do material estudado, as suas respectivas quantidades e os processos sofridos na realização das misturas, com isso tem-se o processamento das informações e apresentação do resultado do ciclo de vida.

As bases de dados adotadas foram *Ecoinvent v3.5* e *Industry Data v2.0*, tal qual os estudos de Marson *et al*. (2021), Xiong *et al*. (2020) e Alsadi *et al*. (2016), pois contemplam uma ampla abrangência de matérias-primas e é perceptível uma rotineira utilização dessas fontes de dados em estudos que envolvem materiais da construção civil.

A entrada de dados no programa foi estipulada pelos estudos do *Institut für Kunststoffkunde und Kunststoffprüfung* (IKP, 2003), da Alemanha, e o *Instituttet for Produktudvikling* (IPU, 2000), da Dinamarca, sendo utilizada a média entre os valores estipulados por cada instituição na composição dos tubos de PVC, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos tubos de PVC em percentual de massa (kg)

	Material	IPU (2003)	IKP (2000)	Média
Aditivos	Resina de PVC	92,1	94	93,05
	Sulfato de chumbo tribásico	1,4	-	1,4
	Estearato de chumbo dibásico	0,5	-	0,5
	Estearato de chumbo	0,2	1,1	0,65
	Estearato de cálcio	0,4	-	0,4
	Filler	-	3,8	3,8
	Calcário em pó	4,7	0,18	2,44
	Ácido esteárico	0,1	-	0,1
	Cera endurecida sintética	0,1	-	0,1
	Parafina (lubrificante)	-	0,7	0,7
Pigmentos	Negro de fumo	0,5	0,02	0,26
	Óxido de titânio	-	0,2	0,2

Fonte: Adaptado de IKP (2003) e IPU (2000).

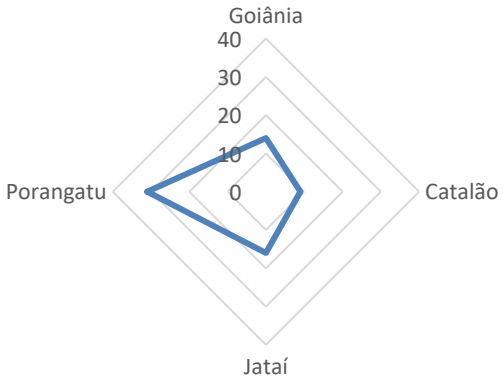
A Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (AICV) foi elaborada com base no método de análise CML-IA 4.1, aconselhado para pela norma europeia EN 15804 (BRE, 2012), que trata da sustentabilidade e serviços na construção civil. Ainda, essa versão de análise é uma das que apresentam um maior número de categorias de impactos, além de ser considerada a abordagem que melhor representa a realidade brasileira quando o assunto é avaliação do ciclo de vida (UGAYA, 2019).

A interpretação dos resultados se deu de forma interativa entre as etapas da ACV e teve por meta identificação do quantitativo de CO_2 liberado pelo processo de transporte dos tubos de PVC pelo estado de Goiás, analisando a consistência dos dados obtidos, conforme NBR ISO 14044 (ABNT, 2014).

3 RESULTADOS

A partir da unidade funcional definida e dos parâmetros adotados para a elaboração da ACV identificou-se o total de emissão de CO_2 relacionada ao processo de transporte dos tubos de PVC para cada uma das cidades avaliadas, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Quantidade de CO_2 liberado, em kg eq



Fonte: Próprios autores (2023)

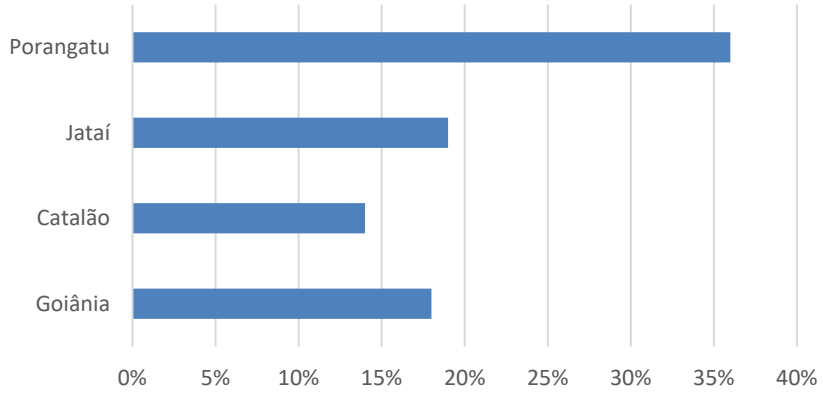
Observou-se que a cidade de Porangatu é a que gera maiores índices de CO_2 dentre as localidades estudadas, ultrapassando a marca de 20 kg CO_2 por metro de tubo transportado. Esse resultado pode ser justificado tendo em vista que o norte goiano é a região do estado com o menor desenvolvimento econômico e tecnológico e que a cidade de Porangatu é a que demanda a maior distância de transporte.

As menores taxas de gás carbônico foram observadas em Catalão, no sudoeste do estado. O posicionamento geográfico dessa cidade colabora com essa situação, visto que é uma cidade com importante papel no cenário de transporte do estado goiano, sendo uma porta de entrada para a movimentação de cargas entre os estados de Goiás, São Paulo e Minas gerais.

Goiânia e Jataí apresentaram comportamento semelhante quanto à quantidade de gás carbono liberado, sendo as duas cidades com as taxas médias de emissão.

Figura 3 apresenta os percentuais da fase de transporte em relação à quantidade de emissões de CO_2 totais da unidade funcional dos tubos de PVC.

Figura 3 – Participação do transporte na emissão de CO_2 (kg)



Fonte: Próprios autores (2023)

As cidades com a maior participação do transporte foram aquelas que tiveram as maiores distâncias de locomoção, um resultado já esperado visto que quando maior a quilometragem maior a queima de combustível dos caminhões. Porém, o que chama atenção é o alto índice dessa participação. O transporte de tubos até Porangatu apresentou mais de 35% da participação da emissão de CO_2 na ACV, mais de um quarto da quantidade liberada em todo o ciclo de vida da unidade funcional.

Caldas e Sposto (2017), em seu estudo sobre a participação do transporte na logística de distribuição de materiais em Goiás encontraram valores próximos ao de 15% para blocos de concreto e 25% para blocos cerâmicos. Os resultados obtidos por esses autores se assemelham aos identificados aqui e corroboram com o fato de que o transporte é um importante fator no estudo da sustentabilidade na construção civil.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se que o processo de transporte de tubulações para o estado de Goiás gera em média 17,5 kg de CO_2 por metro de tubulação movimentada. A maior taxa de emissão foi identificada no norte do estado, fato muito influenciado pelo baixo desenvolvimento tecnológico e industrial da região.

Diagnosticou-se o transporte tem um alto percentual de participação no ciclo de vida do objeto estudado, atingindo indicadores que ultrapassam os 35% de colaboração na emissão de gás carbono para o norte do estado.

Dos fatores que garantem a sustentabilidade de um material (custo, impacto ambiental e impacto social), esse estudo está focado apenas nas questões ambientais relacionadas à logística da exportação. Recomenda-se que para a determinação do perfil sustentável desse processo sejam também analisados os comportamentos econômico e social.

Sendo o Brasil um país com uma matriz de transporte desequilibrada, a busca pela integração e a intermodalidade dos meios de transporte é uma ferramenta que colaboraria com a melhoria da conduta ambiental da etapa de logística de distribuição de materiais e insumos, otimizando o consumo energético e oferecendo benefícios para a saúde pública e a mobilidade urbana.

Essa pesquisa beneficia a indústria da construção civil e a sociedade construtiva no monitoramento de suas emissões poluentes e auxilia na definição de estratégias de controle

na liberação de CO_2 na logística de distribuição de tubulações de PVC no estado de Goiás. Ainda, essa análise se mostra como pioneira na disciplina de sistemas prediais brasileiros, servindo como fomento na formação de profissionais preocupados em melhorar o comportamento ambiental de materiais e processos produtivos.

REFERÊNCIAS

ALSADI, S.; BABAIZADEH, H.; FOSTER, N.; BROUN, R. Environmental and economic life cycle assessment of PEX and copper plumbing systems: A case study. Journal of Cleaner Production, v. 137, pp. 1228-1236, nov. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

BARROS, A.J.S.; LEHFELD, N.A.S Fundamentos de Metodologia Científica. 3ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007, 257p.

BONOU *et al*. Life cycle assessment of Danish pork exports using different cooling technologies and comparison of upstream supply chain efficiencies between Denmark, China and Australia. Journal of Cleaner Production. v. 244, 2020. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118816

BRASIL. Ministério das Cidades. Programa Setorial da Qualidade. PSQ de tubos e conexões 2022. Disponível em: < https://pbqp-h.mdr.gov.br/psq/tubos-e-conexoes-de-pvc-para-sistemas-hidraulicos-prediais/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). Global Product Category Rules for Type III: environmental product declarations os construction products to EN 15804:2012. Reino Unido. 2012. Disponível em: https://www.bre.co.uk/filelibrary/Materials/BRE-EN-15804-PCR-PN514.rev-0.1.pdf Acesso em: 14 mar. 2022.

CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. Emissões de CO_2 referentes ao transporte de materiais de construção no Brasil: estudo comparativo entre blocos estruturais cerâmicos e de concreto. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 4.

DING *et al*. Life cycle assessment of environmental impacts of cold and hot break tomato paste packaged in steel drums and exported from Xinjia. Environmental Impact Assessment Review, v. 98, 2023. doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106939.

Editorial. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (Abiplast). Disponível em: http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2022/09/PERFIL_2021_EN_FINAL.pdf, acessado em jul. 2022.

Editorial. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). Disponível em: https://cdn.cnt.org.br/diretorioVirtualPrd/0e8733db-0f86-47c2-856b-f296b1a8573f.pdf. Acessado em agosto de 2022.

ESCKILSEN, B. Global PVC markets: threats and opportunities. Additives and Compounding. v. 10, Issue 6, Pages 28-30. 2008. ISSN 1464-391X. doi.org/10.1016/S1464-391X(08)70226-5.

GONG, X. *et al*. Life Cycle Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission of Residential Building Designs in Beijing. Journal of Industrial Ecology, v. 16, n. 4, pp. 576-587, 2012.

HUMMELS, D. Transportation Costs and International Trade in the Second Era of Globalization. Journal of Economic Perspectives. 21 (3): 131-154. 2007. DOI: 10.1257/jep.21.3.131

IKP. NL-3: Environmental profile and environmental measures of a concrete external sewer. Intron Report No. 95027. 2003.

IPU. ENTEC UK. Limited. Life cycle assessment of Polyvinyl Chloride and Alternatives: Summary report for consultation. Department of Environment. Transport and the Regions. London Ecobalance. UK, 2000.

MARSON, A.; MANZARDO, A.; PIRON, M.; FEDELE, A.; SCIPIONI, A. Life cycle assessment of PVC - A polymer alloy pipes for the impacts reduction in the construction sector. Chemical Engineering Transactions, v. 86, pp. 721-726, jun. 2021.

MAZZETTO *et al*. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets. Environmental Impact Assessment Review. v. 98, 2023. doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106946

NABUT NETO, A.C. Energia Incorporada e Emissões de CO_2 de Fachadas: estudo de caso do steel frame para utilização em Brasília, Tese de M. Sc., Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universi-dade de Brasília, Brasília, Brasil, 2011.

Natural Resources and Infrastructure Division (INECLAC). Notes on Infrastructure and Integration in South America. Disnponivel em: http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/uploads/documents/cap_doc_compilado_curso08y09_eng.pdf. Acesso em: jan. 2023.

NEIRA, D. P. Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change a case study through product life cycle assessment. Journal of Cleaner Production. v. 112-4, 2016. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.003

PALÁCIO, C. D. U. Energia Incorporada de Vedações Para Habitação de Interesse Social Consideran-do-se o Desempenho Térmico: estudo de caso com utilização do Light Steel Frame no Entorno do DF, Tese de M. Sc. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2013.

PENNAFORT JÚNIOR, L. C.G.; SILVA, F. R.; DEUS, E. P. Avaliação e caracterização de tubos fabricados com PVC reciclado. Polímeros: Ciência e Tecnologia. São Carlos-SP, v. 23, n. 4, p. 547-551. 2013.

PAMU, Y., *et al.* Life Cycle Assessment of a building using Open-LCA software. Materials today: proceedings. v. 52-3, PP. 1968-1978. 2022.

RODOLFO JUNIOR, A.; NUNES, L. R.; ORMANJI, W. Tecnologia do PVC. Braskem, São Paulo. 2 ed. 2013.

RUIZ-PADILLO, A.; SILVEIRA, A. A.; TORRES, T. B. Sistemas de transporte. LAMOT. Universidade Federal de Santa Maria. Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, 2020.

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. A pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS, 2009. cap. 02, p. 31-42.

SOLAYMANI, S. CO_2 emissions patterns in 7 top carbon emitter economies: The case of transport sector. Energy. v. 168. pp. 989-1001. 2019.

TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. Methodology of CO_2 Emission in the Life Cycle of Office Building Façades. Environmental Impact Assessment Review. v. 33, p. 41-47, 2012.

TILLMAN, A. Significance of decision-making for LCA methodology. Environmental Impact Assessment Review. Volume 20, Issue 1, 2000, ISSN 0195-9255. https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00035-9.

UGAYA, C. M. L.; ALMEIDA NETO, J. A.; FIGUEIREDO, M. C. B. Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o Contexto Brasileiro. Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida. IBICT, 2019. Disponível em: https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2019/07/Relat%C3%B3rio-de-Recomenda%C3%A7%C3%B5es-de-Modelos-de-Avalia%C3%A7%C3%A3o-de-Impacto-para-o-Contexto-Brasileiro.pdf. Acesso em: setembro de 2022.

WIEDEMANN *et al*. Environmental impacts and resource use of Australian beef and lamb exported to the USA determined using life cycle assessment. Journal of Cleaner Production. v. 94, 2015. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.073.

XIONG, J.; ZHU, J.; HE, Y.; REN, S.; HUANG, W.; LU, F. The application of life cycle assessment for the optimization of pipe materials of building water supply and drainage system. Sustainable Cities and Society, v. 60, art. no. 102267, 2020.