

**Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e
Infraestrutura**

Gabriela Mann Bertoli

**Avaliação integrada de requisitos de desempenho térmico e
ambiental de sistemas de vedação vertical externa opaca**

Porto Alegre
2020

GABRIELA MANN BERTOLI

**AVALIAÇÃO INTEGRADA DE REQUISITOS DE
DESEMPENHO TÉRMICO E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE
VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA OPACA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Prof. Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello
Dra. pela Universidade Rovira i Virgili,
Espanha
Orientadora

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidade Politécnica da
Catalunha, Espanha
Coorientador

Porto Alegre
2020

AVALIAÇÃO INTEGRADA DE REQUISITOS DE DESEMPENHO TÉRMICO E AMBIENTAL DE SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA OPACA

Esta dissertação de mestrado foi julgada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Sustentabilidade e Gestão de Risco, e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 2020.

Prof. Dra. Ana Carolina Badalotti Passuello
Dra. pela Universidade Rovira i Virgili,
Espanha
Orientadora

Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres
Dr. pela Universidade Politécnic da
Catalunha, Espanha
Coorientador

Prof. Angela Borges Masuero
Coordenadora do PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ângela de Moura Ferreira Danilevicz(RS)
Doutora pela UFRGS, Brasil

Prof. Daniel Tregnago Pagnussat (RS)
Doutor pela UFRGS, Brasil

Prof. Luciana Alves de Oliveira (SP)
Doutora pela EPUSP, Brasil

“As grandes ideias surgem da observação
dos pequenos detalhes.”

Augusto Cury

AGRADECIMENTOS

Foi necessário muita dedicação e trabalho para a realização desta jornada, contudo, não teria chegado até aqui sozinha, por isso gostaria de agradecer a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma maneira. “Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe” (Clarice Lispector).

Agradeço a toda minha família, em especial aos meus pais, Rogério e Denise, que são fonte da minha motivação, pelo amor incondicional, por me incentivarem e me apoiarem em todas as minhas decisões. Ao meu irmão, Bruno, por todo cuidado e por estar sempre ao meu lado.

Ao meu amor e parceiro de vida, Henrique, por todo carinho, apoio e compreensão. Também, por me estimular a ir em busca dos meus sonhos, a ser uma pessoa melhor e por nunca me deixar fraquejar.

À minha orientadora, Ana Passuello, por ter me acolhido e acreditado no meu potencial desde o início, e ao meu coorientador, Maurício Torres, que aceitou entrar neste desafio e contribuiu com todo o seu conhecimento. Agradeço aos dois por terem me enriquecido com os seus ensinamentos e por colaborarem com o meu crescimento científico e pessoal.

Aos professores da banca pelas contribuições. A todos os professores que contribuíram com a minha formação, em especial, à professora Ana Paula Kirchheim por ter me incentivado a seguir em busca de mais conhecimento e por ter sido um exemplo na minha graduação e à professora Monika Stumpp por toda a atenção e pelos conselhos.

Aos amigos que estiveram ao meu lado ao longo da minha vida nos momentos bons e ruins, em especial às amigas de infância e às que conquistei na faculdade de arquitetura por todo amor e apoio. À Ana Karina por nunca hesitar em me ajudar, pelo carinho e amizade que levarei para toda a vida. Ao meu primo, Daniel, e à Aline por toda atenção e afeto. A todos do grupo de pesquisa LIFE sustainability pelo trabalho conjunto, pelos momentos de descontração, troca de conhecimento e solidariedade, principalmente à Janaine e à Michele, que auxiliaram na evolução deste trabalho.

RESUMO

BERTOLI, G. M. **Avaliação integrada de requisitos de desempenho térmico e ambiental de sistemas de vedação vertical externa opaca.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

As edificações consomem grande quantidade de matéria-prima, utilizam energia de forma intensiva e causam grandes impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida. Entre as soluções para as problemáticas globais do momento estão o gerenciamento do consumo de energia e a mitigação das emissões de poluentes. A sustentabilidade nos projetos apresenta-se como uma alternativa válida na busca de soluções para esses problemas. O processo de projeto é capaz de influenciar o consumo de recursos e de energia e, conseqüentemente, os impactos ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode auxiliar o setor da construção civil na seleção de alternativas tecnológicas com menor impacto ambiental em cada etapa do ciclo de vida de uma edificação. Os sistemas de vedações verticais externas têm um papel significativo neste contexto, já que são capazes de influenciar o desempenho térmico e ambiental. Porém, alguns projetistas enfrentam dificuldades para atender os requisitos de desempenho no processo decisório, além de não conhecerem os impactos ambientais das suas decisões projetuais. Devido a isso, o presente trabalho avalia de forma integrada os resultados de desempenho térmico e os impactos ambientais de sistemas construtivos de vedação vertical externa (SVVE) opaca relevantes no contexto nacional, para correlacioná-los e oferecer subsídios para a tomada de decisão nas etapas iniciais de projeto. Para a avaliação de desempenho térmico foram utilizados os métodos prescritivos da *ASHRAE* 90.1:2016, NBR 15575:2013, RTQ-R:2012 e RTQ-C:2010. Ainda, esta pesquisa utiliza a técnica de ACV para quantificar os impactos ambientais potenciais. A ACV foi calculada utilizando dados com a matriz energética adaptada ao contexto local. Os resultados demonstram que apenas 30% dos sistemas em estudo atendem ao mínimo de desempenho nas normas ou o nível A de eficiência nos regulamentos nas zonas 1 e 2. Contudo, nas outras zonas bioclimáticas mais de 50% dos sistemas atendem aos requisitos exigidos para ter nível A de eficiência no RTQ-C:2010 ou RTQ-R:2012 e o mínimo de desempenho térmico da NBR 15575:2013. apesar de alguns sistemas apresentarem desempenhos térmicos semelhantes, em relação aos aspectos ambientais, eles possuem impactos potenciais com diferenças significativas. Entre os quatro sistemas construtivos avaliados, os sistemas de *steel* frame são os que necessitam de menos energia para a produção e possuem impactos ambientais reduzidos em várias categorias, porém só atingem nível de eficiência A no RTQ-C:2010 e na *ASHRAE*:2016 para edificações não residenciais. Através dos resultados de ACV é possível verificar que um grupo de sistemas tem impacto superior aos outros sistemas em todas as categorias de impacto, devido ao acréscimo de alguns materiais, como o MDF, a placa de alumínio composto ou o granito. A categoria de impacto ADP nf é uma exceção, já que os sistemas de maior impacto ambiental são os que possuem quantidades significativas de aço em sua composição. Todos os resultados deste trabalho estão sintetizados em uma Cartilha Técnica de Vedações Verticais Externas Opacas para auxiliar os projetistas durante as etapas iniciais de projeto, servindo de suporte no processo decisório.

Palavras-chave: **processo de projeto, desempenho térmico, desempenho ambiental, sistema de vedação vertical externa opaca, avaliação do ciclo de vida.**

ABSTRACT

BERTOLI, G. M. **Integrated assessment of thermal and environmental performance requirements of wall cladding systems.** 2020. Dissertation (Master of Science in Civil Engineering) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

The buildings use vast quantities of raw materials, use energy intensively, and cause significant environmental impacts in their entire life cycle. The solutions to some of the current global problems include managing energy consumption and reducing emissions of pollutants. Sustainability in design presents itself as a valid alternative in the search for solutions to these problems. The design process can influence the consumption of resources and energy and, consequently, the environmental impacts. The Life Cycle Assessment (LCA) can assist the civil construction sector in selecting technological alternatives with less environmental impact at each stage of the life cycle of a building. External vertical sealing systems have a significant role in this context because they can influence thermal and environmental performance. However, some designers face difficulties in meeting the performance requirements in the decision-making process and not knowing the environmental impact of their project decisions. Therefore, this work evaluates in an integrated way the results of thermal performance and the environmental impacts of wall cladding systems relevant in the national context, to correlate them, and offer subsidies for decision making in the initial stages of the project. The thermal performance assessment is by prescriptive Standard ASHRAE 90.1: 2016, NBR 15575: 2013, RTQ-R:2012, and RTQ-C:2010. Besides, this research uses the LCA technique to quantify potential environmental impacts. LCA calculated using data adapted to the local context. The results demonstrate that only 30% of the systems studied do reach the minimum thermal performance in the standards or level A of efficiency in the regulations in zones 1 and 2. In the other bioclimatic zones, more than 50% of the systems studied to meet the requirement for level A efficiency in RTQ-C:2010 or RTQ-R:2012 and the minimum thermal performance of NBR 15575:2013. Some systems have similar thermal performances; however, they have potential impacts with significant differences in environmental aspects. The steel frame systems, among the four types of systems evaluated, are the ones that need less energy for production and have reduced impacts in many impact categories. However, they only reach efficiency level A in RTQ-C and minimum thermal performance in ASHRAE: 2016 for non-residential buildings. Through the LCA results, it is possible to verify whether a group of systems has a higher impact than the others in all impact categories due to the addition of some materials, such as particleboard, aluminum composite board, or granite. The ADP nf impact category is an exception since the systems with the most significant environmental impact have steel in their composition. All the work results are synthesized in a technical booklet of cladding systems to assist the designers during the early design stages, serving as support in the decision-making process.

Keywords: design process, thermal performance, environmental performance, cladding systems, life cycle assessment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Exemplo de SVV do catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros. | 31 |
| Figura 2: Zoneamento climático brasileiro segundo a ASHRAE 169:2013. | 35 |
| Figura 3: Zoneamento bioclimático brasileiro..... | 36 |
| Figura 4: Exemplos de algumas das paredes que tem as propriedades térmicas disponíveis na NBR 15220-3. | 37 |
| Figura 5: Certificação energética de Edifícios de Portugal. | 41 |
| Figura 6: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de projeto e de edifício construído, respectivamente. | 43 |
| Figura 7: Exemplo de Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para UH. | 45 |
| Figura 8: Processo de projeto integrado. | 48 |
| Figura 9: Fases de uma ACV..... | 51 |
| Figura 10: Sistema de produto delimitado pela fronteira do sistema. | 52 |
| Figura 11: Ciclo de vida de uma edificação segundo a BS EN 15978:2011. Fonte: Adaptado CEN (2011). | 57 |
| Figura 12: Aplicação de ACV no ciclo de vida de uma edificação..... | 62 |
| Figura 13: Delineamento de pesquisa..... | 66 |
| Figura 14: Sistema construtivo genérico de camada única..... | 68 |
| Figura 15: Sistema construtivo genérico de duas camadas. | 68 |
| Figura 16: Sistema construtivo genérico de três camadas. | 69 |
| Figura 17: Sistema construtivo genérico de quatro camadas. | 71 |
| Figura 18: Sistema construtivo genérico de cinco camadas. | 71 |
| Figura 19: Zoneamento bioclimático ASHRAE 169 sobreposto ao brasileiro da NBR 15220. | 74 |
| Figura 20: Estágios e módulos do ciclo de vida de edifícios..... | 78 |
| Figura 21: Conjunto de processos dentro de um sistema de produto para exemplificar a adaptação da matriz energética de um dataset..... | 84 |
| Figura 22: Quantidade de SVVE classificados em cada nível de eficiência do RTQ-C:2010 por zona bioclimática. | 87 |
| Figura 23: Nível de eficiência dos sistemas construtivos por zona na ASHRAE 90.1:2016 para edificações não residenciais. | 89 |
| Figura 24: Relação entre transmitância, capacidade térmica, níveis de eficiência do RTQ-C:2010 e níveis de desempenho térmico para a ASHRAE 90.1:2016 Edificações não residenciais para as zonas bioclimáticas 1 e 2..... | 90 |
| Figura 25: Desempenho dos sistemas construtivos por zona na NBR 15575:2013..... | 91 |

| | |
|---|-----|
| Figura 26: Nível de eficiência dos sistemas construtivos por zona na RTQ-R:2012..... | 92 |
| Figura 27: Nível de eficiência dos sistemas construtivos por zona na ASHRAE 90.1:2016 para edificações residenciais. | 93 |
| Figura 28: Relação entre transmitância e capacidade térmica, níveis de desempenho térmico para a NBR 15575:2013, ASHRAE 90.1:2016 Edificações não residenciais e níveis de eficiência do RTQ-R:2012 para as zonas bioclimáticas 1 e 2 | 94 |
| Figura 29: Participação de cada material na Depleção potencial de recursos abióticos – combustíveis fósseis (ADP f) dos sistemas avaliados. | 98 |
| Figura 30: Participação de cada material na Depleção dos recursos abióticos – não fósseis (ADP nf) dos sistemas avaliados..... | 99 |
| Figura 31: Participação de cada material no Potencial de acidificação da água e do solo (AP) dos sistemas avaliados..... | 100 |
| Figura 32: Participação de cada material no Potencial de eutrofização (EP) dos sistemas avaliados..... | 100 |
| Figura 33: Participação de cada material no Potencial de aquecimento global (GWP) dos sistemas avaliados. Fonte: Autora (2020). | 101 |
| Figura 34: Participação de cada material no Potencial de depleção da camada de ozônio estratosférico (ODP) dos sistemas avaliados..... | 102 |
| Figura 35: Participação de cada material no Potencial de formação de ozônio fotoquímico (POCP) dos sistemas avaliados. | 103 |
| Figura 36: Participação de cada material na Demanda de energia acumulada (CED) dos sistemas avaliados. | 104 |
| Figura 37: Impactos potenciais por categorias de impacto x Capacidade térmica. Fonte: Autora (2020). | 105 |
| Figura 38: Categorias de impacto x Transmitância térmica. | 108 |
| Figura 39: Comparação dos impactos potenciais dos sistemas construtivos que atendem ao requisito de classificação A no RTQ-C:2010 pelo método prescritivo nas zonas bioclimáticas 1 e 2 em relação aos impactos potenciais do sistema 24. | 114 |
| Figura 40: Comparação dos impactos potenciais dos sistemas construtivos que atendem ao requisito de classificação A ou B no RTQ-R:2012 e o mínimo na NBR 15575:2013 pelo método prescritivo nas zonas bioclimáticas 1 e 2 em relação aos impactos potenciais do sistema 24. Fonte: Autora (2020)..... | 115 |
| Figura 41: Estudo Piloto da Cartilha Técnica de Sistemas de Vedações Verticais Externas Opacas. | 117 |
| Figura 42: Quadro resumo da cartilha. | 118 |
| Figura 43: Informações de desempenho térmico..... | 120 |
| Figura 44: Informações de desempenho ambiental. | 120 |
| Figura 45: Relação da abordagem de projeto integrado e a inserção da cartilha nesse processo. | 124 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Categorias de impacto método CML..... | 55 |
| Tabela 2: Sistemas construtivos de camada única..... | 68 |
| Tabela 3: Sistemas construtivos de duas camadas..... | 69 |
| Tabela 4: Sistemas construtivos de três camadas. | 69 |
| Tabela 5: Sistemas construtivos de quatro camadas..... | 71 |
| Tabela 6: Doze sistemas construtivos de cinco camadas. | 72 |
| Tabela 7: Critérios de transmitância térmica para avaliação de vedações verticais externas opacas de acordo com a zona climática para edificações não residenciais segundo a ASHRAE 90.1:2016. | 75 |
| Tabela 8: Critérios de transmitância térmica para avaliação de vedações verticais externas opacas de acordo com a zona climática para edificações residenciais segundo a ASHRAE 90.1:2016. | 75 |
| Tabela 9: Critérios de transmitância e capacidade térmica para avaliação de vedações verticais externas opacas de acordo com a zona bioclimática e a absorvância da superfície externa, segundo a NBR 15575:2013..... | 76 |
| Tabela 10: Critérios de transmitância e capacidade térmica para avaliação de vedações verticais externas opacas de acordo com a zona bioclimática e o nível de eficiência segundo o RTQ-C:2010..... | 76 |
| Tabela 11: Critérios de transmitância e capacidade térmica para avaliação de vedações verticais externas opacas de acordo com a zona bioclimática e a absorvância da superfície externa segundo o RTQ-R:2012..... | 77 |
| Tabela 12: Materiais utilizados nos sistemas construtivos analisados e fonte dos dados. | 79 |
| Tabela 13: Adaptação dos dados utilizados..... | 83 |
| Tabela 14: Categorias de impacto CML 2001..... | 84 |
| Tabela 15: Categorias de impacto CED. | 85 |
| Tabela 16: Resultado da avaliação do desempenho térmico. | 86 |
| Tabela 17: Resultado do método prescritivo das normas e regulamentos em estudo. | 141 |
| Tabela 18: Quantitativo dos materiais por sistema..... | 152 |
| Tabela 19: Processo de adaptação do dataset do aço..... | 164 |
| Tabela 20: Processo de adaptação do dataset do alumínio..... | 165 |
| Tabela 21: Processo de adaptação do dataset da alvenaria cerâmica. | 165 |
| Tabela 22: Processo de adaptação do dataset da cal..... | 166 |
| Tabela 23: Processo de adaptação do dataset da galvanização de zinco. | 167 |
| Tabela 24: Processo de adaptação do dataset do gesso. | 167 |
| Tabela 25: Processo de adaptação do dataset do granito..... | 168 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 26: Processo de adaptação do dataset da lã de rocha. | 168 |
| Tabela 27: Processo de adaptação do dataset da placa de gesso. | 169 |
| Tabela 28: Processo de adaptação do dataset do polietileno. | 169 |
| Tabela 29: Processo de adaptação do dataset da tinta. | 170 |
| Tabela 30: Impactos potenciais de cada sistema por categoria de impacto..... | 172 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- α : Absortividade ou absortância
- ACV: Avaliação do ciclo de vida
- AIA: American Institute of Architects*
- AICV: Avaliação de impacto do ciclo de vida
- ADP f: Depleção potencial de recursos abióticos – combustíveis fósseis
- ADP nf: Depleção potencial de recursos abióticos – elementos não fósseis
- AP: Potencial de acidificação de solo e água
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*
- Φ : Atraso térmico
- BREEAM: Building Research Establishment Environmental Assessment Method*
- C: Capacidade térmica
- Ct: Capacidade térmica de componentes
- CASBEE: Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*
- CBIC: Câmara Brasileira da Indústria da Construção
- CED: Cumulative Energy Demand/ Demanda de energia acumulada*
- CIB: International Council for Research and Innovation in Building and Construction
- CML: Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden*
- COV: Compostos orgânicos voláteis
- CTE: Centro de Tecnologia de Edificações
- DAP: Declaração Ambiental de Produto
- ENCE: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EP: Potencial de eutrofização
- FAD: Ficha de avaliação de desempenho
- GEO-6: Global Environment Outlook 6*
- GWP: Potencial de aquecimento global – horizonte de 100 anos
- HQE: Haute Qualité Environnementale*
- ICV: Inventário do ciclo de vida
- INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- ISO: International Standardization Organization*
- h: Horas
- HVAC: Heating, Ventilating and Air Conditioning*
- KG: Quilos

LEED: Leadership in Energy and Environmental Design

MJ: Megajoule

ODP: Potencial de depleção da camada de ozônio estratosférico

PBE: Programa Brasileiro de Etiquetagem

PROCEL: Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

POCP: Potencial de formação de ozônio fotoquímico

R: Resistência térmica de elementos e componentes

REPA: Resource and Environmental Profile Analysis

RoW: Rest of World

RTQ-C: Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SBAT: Sustainable Building Assessment Tool

SETAC: Toxicology and Chemistry

SICV Brasil: Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida

SINAT: Sistema Nacional de Avaliação Técnica

SVVE: Sistema de vedação vertical externa

SVVIE: Sistemas de vedações verticais internas e externas

U: Transmitância térmica

UH: Unidade habitacional autônoma

PTUH: Pontuação total da unidade habitacional autônoma

VU: Vida útil

VUP: Vida útil de projeto

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA DA PESQUISA..... | 20 |
| 1.2 | PROBLEMA DE PESQUISA | 22 |
| 1.3 | OBJETIVOS DA PESQUISA | 24 |
| 1.4 | DELIMITAÇÕES | 25 |
| 1.5 | ESTRUTURA .DO TRABALHO | 26 |
| 2 | DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO..... | 28 |
| 2.1 | ENVOLTÓRIA DA EDIFICAÇÃO | 28 |
| 2.1.1 | Sistema de Vedação Vertical Externa | 28 |
| 2.1.2 | Desempenho térmico da envoltória | 29 |
| 2.2 | DESEMPENHO TÉRMICO DAS EDIFICAÇÕES | 32 |
| 2.2.1 | ASHRAE 90.1 | 34 |
| 2.2.2 | Normas brasileiras de desempenho térmico..... | 35 |
| | 2.2.2.1 NBR 15220:2005 | 35 |
| | 2.2.2.2 NBR 15575:2013 | 37 |
| 2.3 | REGULAMENTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 39 |
| 2.3.1 | Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos | 42 |
| 2.3.2 | Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais..... | 43 |
| 2.4 | DESEMPENHO TÉRMICO NO PROCESSO DE PROJETO | 45 |
| 3 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 49 |
| 3.1 | CENÁRIO NACIONAL E INTERNACIONAL | 49 |
| 3.2 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... | 51 |
| 3.2.1 | Definição do Objetivo e Escopo | 51 |
| 3.2.2 | Inventário do ciclo de vida (ICV) | 53 |
| 3.2.3 | Avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) | 54 |
| 3.2.4 | Interpretação | 57 |
| 3.3 | ACV DE EDIFICAÇÕES | 57 |
| 3.3.1 | ACV de sistemas construtivos | 59 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.4 | ACV NO PROCESSO DE PROJETO..... | 61 |
| 4 | MÉTODO | 66 |
| 4.1 | DELINEAMENTO DA PESQUISA | 66 |
| 4.2 | DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM ESTUDO..... | 67 |
| 4.3 | NORMAS E REGULAMENTOS DE DESEMPENHO TÉRMICO EM ESTUDO..... | 73 |
| 4.3.1 | <i>ASHRAE 90.1: 2016</i> | 74 |
| 4.3.2 | NBR 15575:2013..... | 75 |
| 4.3.3 | RTQ-C:2010..... | 76 |
| 4.3.4 | RTQ-R:2012..... | 77 |
| 4.4 | TÉCNICA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... | 77 |
| 4.4.1 | Objetivo e escopo..... | 77 |
| 4.4.2 | Inventário do ciclo de vida (ICV) | 79 |
| 4.4.3 | Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)..... | 84 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 86 |
| 5.1 | DESEMPENHO ‘TÉRMICO | 86 |
| 5.1.1 | Avaliação do desempenho térmico de SVVE opaca de Edificações não Residenciais 87 | |
| 5.1.2 | Avaliação do desempenho térmico de SVVE opacas de Edificações Residenciais.. | 91 |
| 5.1.3 | Considerações sobre a avaliação de desempenho térmico..... | 95 |
| 5.2 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... | 97 |
| 5.2.1 | Avaliação dos impactos potenciais por SVVE..... | 97 |
| 5.2.2 | Desempenho térmico x Desempenho ambiental | 105 |
| 5.2.3 | Comparação dos impactos potenciais dos sistemas construtivos de mesma classificação de desempenho térmico..... | 113 |
| 6 | DESENVOLVIMENTO DA CARTILHA DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS OPACAS..... | 116 |
| 6.1 | DESENVOLVIMENTO DA CARTILHA | 116 |
| 6.2 | USO DA CARTILHA NO PROCESSO DE PROJETO | 122 |
| 7 | CONCLUSÕES | 125 |
| 7.1 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 128 |
| | REFERÊNCIAS | 130 |

| | |
|---|------------|
| APÊNDICE A - Resultado método prescritivo de avaliação de desempenho térmico. | 140 |
| APÊNDICE B – Quantitativos dos materiais por sistema | 151 |
| APÊNDICE C – Adaptação dos dados..... | 163 |
| APÊNDICE D – Resultados da ACV (CML e CED)..... | 171 |

1 INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento atual é incompatível com o desenvolvimento sustentável, expressão popularizada pela divulgação do Relatório de Brundtland, em 1987, que propõe que a sociedade deveria ser capaz de atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades (BRUDTLAND, 1987). Os padrões de produção e de consumo presentes geram consequências graves e entre as soluções para as problemáticas globais do momento, estão o gerenciamento do uso de energia e a mitigação das emissões de poluentes e gases do efeito estufa (IIASA, 2019).

O sexto Panorama Ambiental Global (*GEO-6*) evidencia a urgência de uma mudança de postura em relação aos problemas ambientais (*UN Environment*, 2019). O relatório também ressalta que o mundo tem a ciência, os recursos financeiros e até mesmo a tecnologia necessária para seguir em direção ao desenvolvimento sustentável. Contudo, o apoio das entidades públicas e privadas ainda não é suficiente, uma vez que muitos estão presos a modelos ultrapassados de produção e de desenvolvimento.

O setor de construção civil representa uma grande contribuição para a economia e o desenvolvimento social dos países. No entanto, este setor tem atuado como um importante contribuinte para impactos ambientais (ARAÚJO; CARNEIRO; PALHA, 2020; HONG et al., 2015; WU et al., 2019). Em nível mundial, esta indústria consome 60% das matérias primas extraídas (BRIBIÁN; CAPILLA; USÓN, 2011). As edificações representam de 30 a 40% do uso de energia em países desenvolvidos (RASTOGI et al., 2017). Ainda, a demanda de energia das edificações continua aumentando a cada ano devido ao crescimento da população, ao aumento dos serviços e ao conforto desejado pelos usuários (ASDRUBALI; BALDASSARRI; FTHENAKIS, 2013).

Em 1953, foi fundado o *Council International for Buildings (CIB)*, com o objetivo de abordar o desempenho de edificações. Após a sua criação, foram implementadas normas no setor. Diversos países têm ou estão produzindo leis e incentivos para edificações projetadas de forma ambientalmente responsável e com alto desempenho (LAMBERTS et al., 2007). Internacionalmente, as normas mais difundidas, que serviram de base para várias outras, foram desenvolvidas pela *American Society of Heating Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)* nos Estados Unidos da América. Dentre estas, a *ASHRAE 90.1* tem como

objetivo estabelecer requisitos mínimos para projetos de edifícios eficientes energeticamente, envolvendo todas as atividades não industriais, exceto as residenciais unifamiliares. No Brasil, a preocupação com o desempenho começou a ser discutida no Primeiro Encontro Nacional Sobre Normalização Quanto ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Térmico em Edificações, no ano de 1991 (CARLO; LAMBERTS, 2010). Como resultado, atualmente, encontram-se vigentes no país duas normas da ABNT relacionadas ao tema: NBR 15220:2005 (ABNT, 2005a) e a NBR 15575:2013 (ABNT, 2013a), ambas em revisão.

A NBR 15220:2005 é dividida em cinco partes e engloba requisitos referentes ao desempenho térmico, como métodos de cálculo de propriedades térmicas e de elementos da edificação, zoneamentos bioclimáticos e métodos de medições (ABNT, 2005a). Na terceira parte, as recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social e o zoneamento bioclimático brasileiro são definidos. De acordo com essa norma, o território brasileiro é dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações através de sua melhor adequação climática.

A NBR 15575:2013 (ABNT, 2013a) apresenta seis partes e abrange outros tópicos além do desempenho térmico, como desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade, entre outros. Esta norma estabelece requisitos e critérios para edificações residenciais. Os requisitos são as exigências para o atendimento das normas e estão associados aos critérios, diretrizes para cumprir tais exigências. Por exemplo, a adequação de paredes externas é um requisito que determina que as paredes externas devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem, pelo menos, o desempenho térmico mínimo. Já os critérios para atingir este objetivo são os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica e mínimos para a capacidade térmica das paredes externas (ABNT, 2013b).

A normas NBR 15220:2005 e NBR 15575:2013 fazem referência somente a edificações residenciais. Porém, o Selo Procel Edifica, desenvolvido pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, contempla outras tipologias. Este selo tem por objetivo classificar o nível de eficiência energética de edificações e é dividido em dois regulamentos: o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais,

de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R).

Nesse contexto, em busca do desenvolvimento sustentável, focado no aumento de desempenho das edificações, redução do consumo de recursos e de impactos ao meio ambiente, um grande número de países já desenvolveu procedimentos de certificação de desempenho térmico e energético. Nos países europeus, por exemplo, foram feitas leis nacionais e diretivas da União Europeia com limites e restrições ao consumo de energia em edifícios e requisitos para certificação energética em edifícios reformados e novos (ASDRUBALI; BALDASSARRI; FTHENAKIS, 2013). Também foram desenvolvidos protocolos e ferramentas de avaliação de edifícios focados no desempenho ambiental das edificações. O desempenho ambiental é um indicador para aferir os impactos de determinadas atividades e analisar o nível de eficiência em relação aos aspectos ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta para avaliação do impacto ambiental de processo ou produto, normatizada pela *International Standartization Organization (ISO)*. No Brasil, a primeira versão da norma, que é baseada na internacional, foi publicada em 2001: ABNT NBR ISO 14040: 2001 Gestão ambiental, avaliação do ciclo de vida - requisitos e orientações (ABNT, 2009a).

A abordagem de avaliação ambiental baseada em ACV pode auxiliar a seleção de alternativas tecnológicas com mínimo impacto ambiental em cada etapa do ciclo de vida de uma edificação, que compreende desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza à disposição final, incluindo as etapas de produção, transporte, distribuição, uso, reuso, manutenção e reciclagem. Internacionalmente, esta metodologia é a preferida para investigar sistematicamente os impactos de um produto, processo ou sistema ao longo de todo o seu ciclo de vida (BARROS, 2016). Ainda, é considerada o método de avaliação mais adequado para quantificar o consumo de energia e recursos, as emissões, a geração de resíduos e os impactos ambientais de um edifício ao longo de todo o seu ciclo de vida (MEEX et al., 2018). A ACV é obrigatória em algumas certificações de edifícios e em outras a sua realização concede bonificações, como o *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)* e o *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)*, que são certificações reconhecidas mundialmente para avaliar a sustentabilidade de uma edificação (MEEX et al., 2018). Esta ferramenta de avaliação é indispensável para o enfrentamento do problema de desempenho ambiental e compatibilização entre crescimento econômico e sustentabilidade.

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Há uma projeção de que a população mundial sofra um crescimento de 50%, estimando-se que chegue aos 10 bilhões de pessoas, em 2050 (ONU, 2019). Com o aumento do número de habitantes, as cidades também precisam expandir-se, o que demanda mais infraestrutura e a construção de novas edificações, que possivelmente serão mais verticalizadas. Os edifícios consomem um elevado contingente energético, não apenas na fase de construção, mas também na de uso e operação (BERNABÉ, 2012). À medida que se constrói verticalmente, aumenta-se a quantidade de superfícies expostas à radiação solar, o que acaba por gerar um acúmulo maior de calor. A radiação solar incidente é a maior carga térmica externa atuante sobre a envoltória da edificação (ASHRAE, 2009). O consumo de energia para climatização em edificações está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pela sua envoltória (CARLO, 2009), que é o conjunto de elementos do edifício que está em contato com o meio exterior e compõe os fechamentos dos ambientes internos em relação ao ambiente externo. As características da envoltória, como transmitância térmica e absorvidade ou absorvância, são fatores determinantes para a adequação do desempenho térmico (OLIVEIRA et al., 2016) e têm influência no consumo de energia elétrica (CARLO et al., 2003). A eficiência da envoltória é baseada no quanto ela consegue proteger a edificação da ação provocada pelas trocas térmicas entre o exterior e o interior (CARLO; LAMBERTS, 2010).

As legislações que entraram em vigor, como a NBR 15575, exigiram que o processo de projeto tenha um controle maior sobre o desempenho da edificação. As etapas iniciais do processo de projeto têm grande importância, pois são mais flexíveis a modificações. Além disso, apresentam um maior potencial para avaliar diferentes alternativas em busca da redução de custos e melhorias no desempenho. Ainda, o comportamento térmico de um edifício depende fundamentalmente das decisões tomadas nesta etapa do projeto, principalmente daquelas relacionadas à volumetria, orientação das fachadas, áreas, posicionamento e sombreamento das janelas, sistemas construtivos de paredes e coberturas, cores, entre outros (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006). Com a evolução do projeto, a flexibilidade é reduzida e, em consequência, a chance de fazer alterações também diminui ou envolve mais custos ambientais e econômicos (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Os estudos preliminares e o anteprojeto podem ser responsáveis por 50% do potencial de economia de energia (KNIJNIK, 2011), o que ressalta a importância de projetar pensando no

desempenho. Em alguns países, como França, Canadá e Japão, o processo de projeto inicia-se pela definição do desempenho do edifício e dos seus subsistemas para, posteriormente, definirem-se as tecnologias construtivas a serem adotadas (OLIVEIRA; MITIDIERI, 2012). O Brasil enfrenta dificuldades na utilização do desempenho no processo de projeto. A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) e o Centro de Tecnologia de Edificações (CTE) realizaram, em 2016, um estudo junto a 145 empresas, entre construtoras, incorporadoras, projetistas e fornecedores de materiais, revelando que as principais dificuldades no atendimento da norma de desempenho brasileira são: dificuldade de informações de materiais e componentes, falta de laboratórios para realização de ensaios, aumento dos custos de projetos, desconhecimento dos projetistas sobre a norma e necessidade de mudança de processos internos (CTE, 2016)

A construção civil possui papel importante na preservação do meio ambiente, visto que consome um elevado volume de recursos, como água e energia elétrica, o qual em parte deve-se à não eficácia das edificações (DEGANI; CARDOSO, 2002). Portanto, mudanças no tratamento das questões ambientais representam uma oportunidade de desenvolvimento. A ACV, ao ser utilizada durante o processo de projeto, possibilita a compreensão de diversos impactos durante as diferentes fases do ciclo de vida da edificação, fornecendo base científica para critérios ambientais (ANTÓN; DÍAZ, 2014). Ainda, esta ferramenta orienta a seleção de materiais, o planejamento para gerenciamento de resíduos e o desenvolvimento do plano de construção (GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2010). Porém, segundo Basbagill et al. (2013), normalmente, a ACV é conduzida após a construção e não durante o processo de projeto e planejamento, quando os resultados poderiam realmente influenciar em decisões.

No entanto, a construção civil se movimenta em direção ao processo de projeto ambientalmente responsável. Muitos projetistas preocupam-se em reduzir o consumo de energia operacional do edifício, porém os impactos relacionados às outras fases do ciclo de vida da edificação, como fabricação, transporte, construção e demolição, normalmente não são avaliados durante o processo de projeto (KIERANTIMBERLAKE, 2018). Embora muitos arquitetos e engenheiros estejam cientes dos impactos ambientais incorporados nos materiais, poucos têm recursos, experiência ou conhecimento para examinar e comparar a sustentabilidade geral dos diferentes materiais de construção escolhidos (KIERANTIMBERLAKE, 2018).

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

O desempenho térmico da edificação sofre influência de fontes tanto internas quanto externas. Os elementos que compõem a envoltória, sistemas de vedação vertical externa (SVVE) e cobertura, são os que têm maior influência de fontes externas e, assim, maior influência no consumo de energia (HÜNEMEIER; MARTINI SPEZIA, 2018). Os SVVE são constituídos de três elementos: o vedo e os revestimentos, que constituem os sistemas de vedação vertical externa opaca, e as esquadrias. A envoltória pode ser considerada um dos elementos principais de uma edificação, já que é responsável pela proteção contra agentes externos, como poluição, ruídos, vento, chuva e radiação solar, possuindo papel fundamental nas questões de conforto ambiental (SILVA, 2003b). Portanto, a envoltória deve receber atenção especial dos projetistas em todas as etapas de projeto, uma vez que ela precisa contemplar muitos requisitos de desempenho, tanto ambiental quanto funcional, como o desempenho acústico, térmico, lumínico, estanqueidade, de durabilidade, entre outros.

A escolha dos materiais que compõem a envoltória é um dos estágios mais importantes do processo de projeto. Caso as suas características não sejam pensadas de forma adequada, trocas térmicas indesejadas serão realizadas com o exterior. Por isso, para escolher os sistemas de vedações verticais externas mais adequados, é necessário mensurar grandezas como capacidade térmica e transmitância, que são características construtivas de extrema importância para o desempenho de uma edificação. Muitas normativas e regulamentos, tanto nacionais quanto internacionais, vêm tentando melhorar o desempenho térmico de edifícios. A maioria dos países desenvolvidos possui normas de desempenho ou eficiência energética de edificações (MELO; LAMBERTS, 2008). No entanto, o processo de regulamentação e certificação mostra-se bastante complexo (MORISHITA, 2011), já que os requisitos de projeto são muitas vezes conflitantes, o que dificulta a escolha dos projetistas.

A demanda de energia dos edifícios ao longo do ciclo de vida é de dois tipos: demanda de energia operacional na fase de uso e a energia incorporada nas fases de extração, produção, construção e substituição de componentes, bem como na de disposição, no fim da sua vida útil (HOLLBERG; RUTH, 2016). Porém, as medidas para reduzir a demanda operacional fizeram com que a relação entre energia operacional e incorporada mudasse nos últimos anos (HOLLBERG; RUTH, 2016). Novamente, a escolha dos sistemas construtivos aparece com um papel significativo, mas desta vez para melhorar o desempenho ambiental, tendo em vista que

a escolha de materiais com baixo impacto incorporado tem enorme potencial para reduzir drasticamente o impacto do ciclo de vida de um edifício (BASBAGILL et al., 2013). Sendo assim, a construção sustentável deve considerar não apenas a fase operacional de um edifício, mas também a demanda de energia, recursos, emissões e resíduos da construção, manutenção e o estágio de final de vida útil dos edifícios.

O desempenho ambiental da edificação é cada vez mais avaliado na construção civil. Diversas metodologias e ferramentas vêm sendo elaboradas em busca da mitigação de impactos nas edificações, como a aplicação da ACV e o uso de certificações ambientais (BARROS, 2016). O maior desafio de aplicar ACV em edificações, no contexto brasileiro, é devido à escassez de dados regionalizados representativos no país e das suas distintas regiões (SOUZA et al., 2018), existindo a possibilidade de utilizar bancos de dados internacionais. No entanto, a aplicação destas bases em países que não possuem um banco de dados é um desafio, devido às diferenças existentes nas tecnologias, clima, tipos de produtos, entre outros (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

Os métodos de ACV, geralmente, exigem tempo e esforço significativos para implementação, sendo um desafio realizá-los durante as etapas iniciais de projeto, tendo em vista o grande número de decisões que os projetistas devem tomar. Porém, adiar ou fazer alterações em tais decisões após estas etapas, conduz a aumentos significativos do impacto na construção (ANTÓN; DÍAZ, 2014). No início do processo, o problema de projeto ainda não está bem definido, por isso o número de alternativas é grande e o potencial para reduzir os impactos ambientais é maior ainda. A falta de informações é um dos maiores obstáculos para realizar a avaliação de desempenho ambiental nas fases iniciais (ANTÓN; DÍAZ, 2014).

Assim, diante do exposto neste capítulo, percebe-se que os projetistas enfrentam dificuldades frente à utilização de requisitos de desempenho no processo de projeto, considerando-se a grande quantidade de critérios, de diferentes normativas e regulamentos, a serem atendidos pelos sistemas construtivos escolhidos. Ao se pensar em um projeto que busque a sustentabilidade ambiental, a escolha dos sistemas construtivos deve ser feita prezando por materiais com baixo impacto ao longo do seu ciclo de vida. Como nas etapas iniciais de projeto a disponibilidade de dados dos materiais é limitada, Meex et al., (2018) recomenda utilizar uma abordagem de comparação entre materiais genéricos, para realizar uma primeira avaliação de impacto e desempenho. Portanto, é extremamente relevante para os projetistas terem acesso a

indicadores ambientais, calculados com base em ACV, que estejam relacionados com os critérios de desempenho térmico da edificação, para realizar a comparação entre sistemas construtivos e verificar alternativas válidas em relação às normativas e ao desenvolvimento sustentável.

Avaliar os diferentes requisitos de desempenho de sistemas construtivos é um desafio e a escolha de sistemas construtivos em projetos orientados ao desempenho pode ser conflitante. Assim, a gestão de conflitos, também conhecida por trade-off (DA SILVEIRA E SLACK, 2001), tem um papel significativo no processo decisório de projeto. Os trade-offs são caracterizados como conflitos entre os objetivos a serem alcançados (DE MAGALHÃES; DANILEVICZ; PALAZZO, 2019), em que os ganhos em alguns aspectos são obtidos a partir de perdas no atendimento de outros e eles são indispensáveis quando se é necessário tomar decisões baseadas em multicritérios. Logo, os trade-offs são inevitáveis em projetos orientados ao desempenho, conforme Da Silveira e Slack (2001) eles são parte integrante do processo de tomada de decisão.

Deste modo, é importante investigar uma maneira de facilitar para os projetistas a escolha de sistemas de vedações verticais externas opacas baseada nos seus desempenhos térmicos e nos seus impactos ambientais, assim como a aplicação dos métodos prescritivos de avaliação de desempenho térmico da *ASHRAE* 90.1:2016, NBR 15575: 2013, RTQ-R:2012 e RTQ-C:2010, e da ACV, sem que se tenha um amplo conhecimento e experiência da ferramenta. Nesse contexto, é crucial empregar a avaliação dos requisitos de desempenho no processo de projeto, para que seja possível avaliar diferentes critérios objetivamente e simplificar a escolha do projetista nas etapas iniciais do projeto prezando pela melhora no desempenho térmico, redução do consumo de energia e pela mitigação dos impactos ambientais.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

A presente dissertação possui como objetivo principal:

Avaliar de forma integrada os resultados de desempenho térmico, obtidos através da avaliação de diferentes normativas e regulamentos, e os impactos ambientais de sistemas construtivos de vedação vertical externa (SVVE) opaca relevantes no contexto nacional, para correlacioná-los e oferecer subsídios para a tomada de decisão nas etapas iniciais de projeto.

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Verificar o desempenho térmico dos sistemas SVVE opaca relevantes segundo os métodos prescritivos da *ASHRAE* 90.1:2016, da NBR 15575:2013 e dos RTQ-C:2010 e RTQ-R:2012;
- Verificar os impactos ambientais potenciais associados à etapa de produção dos sistemas construtivos em estudo;
- Avaliar a relação da transmitância térmica e da capacidade térmica com os impactos ambientais potenciais de produção dos sistemas construtivos estudados;
- Fornecer subsídios para os projetistas de forma a auxiliar na tomada de decisões ambientalmente conscientes e que cumpram os requisitos normativos através de um instrumento (Cartilha Técnica de Sistemas de Vedações Verticais Externas Opacas);
- Discutir a influência da escolha de um sistema de vedação vertical externa opaca no desempenho térmico e nos impactos ambientais da edificação no processo de projeto.

1.4 DELIMITAÇÕES

Para a realização deste trabalho foram definidas algumas delimitações:

- a) Apenas as paredes, parte opaca dos sistemas de vedações verticais externas da envoltória, são avaliadas neste trabalho. Este sistema foi escolhido em razão da sua influência no desempenho térmico da edificação e, conseqüentemente, no consumo de energia (CARLO et al., 2003; CARLO, 2009; OLIVEIRA et al., 2016).
- b) Este trabalho contempla a análise dos 42 sistemas construtivos de vedação vertical externa opaca que constam no Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros do INMETRO (INMETRO, 2013), pois estes são relevantes para a construção civil brasileira, uma vez que são os sistemas mais usuais no contexto nacional (PROJETEEE, 2019).

- c) Para a avaliação do desempenho funcional, este estudo contempla apenas o desempenho térmico devido à sua influência no consumo de energia de uma edificação e, conseqüentemente, nos impactos ambientais.
- d) Para as definições de desempenho térmico, serão consideradas aquelas estipuladas pelos métodos prescritivos da *ASHRAE 90.1:2016*, *NBR 15575:2013*, *RTQ-R:2012* e *RTQ-C:2010*. Este método foi escolhido porque o objetivo é avaliar o perfil dos sistemas sem relacioná-los a um projeto específico, condição que impossibilita a realização de uma simulação térmica.
- e) São analisadas apenas as etapas A1-3 (Extração de matéria prima, transporte e fabricação) do ciclo de vida da edificação da *EN 15978:2011* (CEN, 2011), pois a unidade declarada do estudo é 1m² de vedação vertical externa opaca.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está organizada em sete capítulos. O presente capítulo introduz o contexto no qual o problema de pesquisa se originou, permitindo a identificação das principais lacunas de conhecimento que originaram os objetivos a serem atingidos.

O capítulo dois aborda o referencial teórico acerca do desempenho térmico. A primeira seção trata da envoltória da edificação, os sistemas que a compõem, a sua importância e a sua relação com o desempenho térmico. A segunda seção refere-se ao desempenho térmico da edificação, apresentando os contextos, normativas e regulamentos da área. A terceira seção aborda o uso do desempenho térmico no processo de projeto.

O capítulo três refere-se à avaliação do ciclo de vida (ACV) da edificação, a primeira seção aborda o cenário nacional e internacional através de uma contextualização. Após, na segunda seção, apresenta-se a ferramenta de ACV e suas etapas, assim como as suas dificuldades de aplicação. A terceira seção trata da ACV de edificações e, por fim, a quarta seção da ACV no processo de projeto.

O capítulo quatro aborda os procedimentos metodológicos, iniciando com o delineamento e as fases para o desenvolvimento desta pesquisa. Este capítulo também apresenta os sistemas

construtivos e os parâmetros de desempenho térmico das normas e regulamentos em estudo, assim como a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida.

O capítulo cinco apresenta a discussão dos resultados da pesquisa frente ao desempenho térmico e ao desempenho ambiental. Após, a avaliação dos impactos ambientais é feita a sua correlação com o desempenho térmico.

O capítulo seis apresenta o desenvolvimento da Cartilha Técnica de Sistemas de Vedações Verticais Externas Opacas, que integra, em um mesmo documento, requisitos de desempenho térmico da edificação e desempenho ambiental. Neste capítulo, também é apresentada uma sugestão da utilização da cartilha no processo de projeto.

As conclusões são apresentadas no capítulo sete, no qual também são realizadas ponderações sobre as contribuições teóricas e sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ACERO, A. O; RODRIGUEZ, C. CIROTH, A.. LCIA methods Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories. **Greendelta**. 2016. Disponível em: https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA_LCIA_METHODS-v.1.5.6.pdf . Acesso em: 10 de janeiro de 2020.
- AKEN, J. E. V. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field tested and grounded technological rules. **Journal of management studies**, v. 41, p. 219-246, 2004.
- AKTAS CB, BILEC MM. Impact of lifetime on US residential building LCA results. **The International Journal of Life Cycle Assessment** 2011, v. 17, p. 337–49, 2011.
- ALI, A.J.J.; OCHEOHA, Y.U.; NASIRI, F. A comparative assessment of insulated concrete and wood frame wall technologies: Thermal performance, costing, and environmental impacts. **Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference 2016: Resilient Infrastructure** v. 2, 2016, p. 843-845, 2016.
- AMIRI FARD, F.; JAFARPOUR, A.; NASIRI, F. Comparative assessment of insulated concrete wall technologies and wood-frame walls in residential buildings: a multi-criteria analysis of hygrothermal performance, cost, and environmental footprints. **Advances in Building Energy Research**, p. 1–33, 2019.
- ANDROSEVIC, R. et al. Life Cycle Assessment as a Tool for Low Waste Building Systems, Case Study Building External Wall. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 603, n. 4, 2019.
- ANICER. Análise comparativa do ciclo de vida de paredes construídas com blocos cerâmicos , blocos de concreto e concreto armado moldado in loco. [s. l.], 2012.
- ANTÓN, L. Á.; DÍAZ, J. Integration of life cycle assessment in a BIM environment. **Creative Construction Conference**, v. 85, p. 26–32, 2014.
- ARMSTRONG, A. ; GOGGINS, J. Life cycle assessment of Irish residential buildings and typical building envelope analysis. Structures and Architecture: Concepts, Applications and Challenges. **Proceedings of the 2nd International Conference on Structures and Architecture, ICSA 2013** 2013, p. 600-607, 2013.
- ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura Rio Grande do Sul. **Caderno técnico ASBEA – RS: norma de desempenho** / Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura-RS, Associação Riograndense de Escritórios de Arquitetura., Porto Alegre:, 2014.
- ASDRUBALI, F.; BALDASSARRI, C.; FTHENAKIS, V. Life cycle analysis in the construction sector: Guiding the optimization of conventional Italian buildings. **Energy & Buildings**, v. 64, p. 73–89, 2013.
- ASHARAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Standard 90.1–2016: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise**

Residential. Atlanta, 2016. Disponível em: [https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2016_\(IP\)](https://ashrae.iwrapper.com/ViewOnline/Standard_90.1-2016_(IP)). Acesso em: 11 de Maio de 2019.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **Standard 169–2013: Climatic Data for Building Design Standards.** Atlanta, 2013.

ASHRAE, , American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook of Fundamentals.** Atlanta, US: ASHRAE Inc., 2009.

ASIF, M.; MUNEER, T.; KELLEY, R. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. **Building and Environment**, v. 42, n. 3, p. 1391–1394, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1 Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 -2 Desempenho térmico de edificações Parte 2 : Métodos de cálculo da transmitância térmica , da capacidade térmica , do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações,** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005. c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura.** Rio de Janeiro, 2009. a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.. **NBR ISO 14044 Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e Orientações.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.. **NBR 15575-1 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE.** Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO/TR 14049. Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida — Exemplos ilustrativos de como aplicar.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636-2:2017 Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos Parte 2: Projeto arquitetônico.** Rio de Janeiro, 2017.

BARROS, N. N. **Impactos da adoção de BIM na avaliação de energia e emissões de GHG incorporadas no ciclo de vida de edificações.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp,

UFSC , Campinas, 2016..

BASBAGILL, J. et al. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. **Building and Environment**, [s. l.], v. 60, p. 81–92, 2013.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A.M. The Hitch Hiker’s Guide to LCA. **Studentlitteratur AB**, 2004

BERNABÉ, A. C. A. **A influência da envoltória no consumo energético em edifícios comerciais artificialmente climatizados na cidade de vitória- es**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil da, UFES, Vitória, 2012.

BLENGINI, G. A; DI CARLO T. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, p. 869–80, 2009..

BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10295.htm. Acesso em: 10 de Abril de 2019.

BRASIL. **Decreto n. 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D4059.htm. Acesso em: 10 Abril de 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). **Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). Portaria: nº 18 de 16 de janeiro de 2012. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais (RTQ-R)**. Brasília, DF, 2012.

BRE Global Product Category Rules for Type III environmental product declaration of construction products to EN 15804 : 2012 + A1 : 2013 . [s. l.], p. 1–44, 2013.

BRIBIÁN, I. Z.; CAPILLA, A. V.; USÓN, A. A. Life cycle assessment of building materials : Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the ecoefficiency improvement potential. **Building and Environment**, v. 46, p. 1133–1140, 2011.

BROUN, R. et al. Integrated life cycle energy and greenhouse gas analysis of exterior wall systems for residential buildings. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 6, n. 12, p. 8592–8603, 2014.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development**. Oslo. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2019.

BUENO, C.; FABRICIO, M. M. Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 90, n. March, p. 188–200, 2018.

BUYLE, M.; BRAET, J.; AUDENAERT, A. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p. 379–388, 2013.

CABEZA, L. F. et al. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, , v. 29, p. 394–416, 2014.

CARLO, J. et al. The use of computer simulation to establish energy efficiency parameters for a building code of a city in Brazil. **Building Simulation**, Eighth International IBPSA Conference, 2003.

CARLO, J. C. Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 7–26, 2010.

CASTRO, A. L. et al. Análise da viabilidade técnica da adaptação de dados internacionais de inventário de ciclo de vida para o contexto brasileiro : um estudo de caso do concreto para paredes moldadas no local. **Anais do 57º Congresso Brasileiro do Concreto**, p. 1–16, 2015.

CBIC. **Pesquisa Setorial - Norma De Desempenho: Panorama Atual E Desafios Futuros**, 2016. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/03/Panorama.pdf>. Acessado em: 20 de Janeiro de 2020.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15.978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method**. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2011.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION . **EN 15.804:2012+A1:2013 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products**. Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2013.

CHEUNG. S. O. et al. Behavioral aspects in construction partnering. **International Journal of Project Management**, v.21, n.5, p.333-343, jul.2003.

CONDEIXA, K. et al. An inquiry into the life cycle of systems of inner walls: Comparison of masonry and drywall. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 7904–7925, 2015.

CORNARO, C. et al. An innovative straw bale wall package for sustainable buildings: experimental characterization, energy and environmental performance assessment. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 208, p. 109636, 2020.

DE MEESTER, B et al. Exergetic life-cycle assessment (ELCA) for resources consumption evaluation in the built environment. **Building and Environment**, v. 44,p. 11–7.2009.

SILVEIRA, G.; SLACK, N. Exploring the trade-off concept. **International Journal of Operations & Production Management**. v. 21, n.7, p. 949-964, 2001.

DE MAGALHÃES, R. F.; DANILEVICZ, Â. D. M. F.; PALAZZO, J. Managing trade-offs in complex scenarios: A decision-making tool for sustainability projects. **Journal of Cleaner Production**, p. 447-460, 2019.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. A Sustentabilidade ao Longo do Ciclo de Vida de Edifícios. In: NUTAU 2002 - SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA E DESENHO URBANO. **Anais...2002**.

DINATO, R. M. et al. Influência da matriz elétrica na adaptação de inventários de ciclo de vida para o cenário brasileiro. **IV Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida**, n. 3, p. 368–371, 2014.

DIXIT, M. K. Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 390–413, 2017.

ECOINVENT. **Ecoinvent version 3.6**. Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/> Acessado em: 20 de Janeiro de 2020.

EUROPEAN UNION. **Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment**, v. 1, 2010.

FENG, H.; HEWAGE, K. Lifecycle assessment of living walls: Air purification and energy performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 91–99, 2014.

FERRERO, A. et al. How to apply building energy performance simulation at the various design stages: A recipes approach. **14th International Conference of IBPSA - Building Simulation, Conference Proceedings**, p. 2286–2293, 2015.

GÁMEZ-GARCÍA, D. C. et al. A cradle to handover life cycle assessment of external walls: Choice of materials and prognosis of elements. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 8, p. 10–17, 2018.

GARÉ, J. C. **Contribuições da construção civil brasileira para o desenvolvimento sustentável**. Dissertação (Mestrado em Administração) - USCS - Programa de Pós- Graduação em Administração, São Caetano do Sul, 2011

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice**. American Institute of Architects, 2010. Disponível em: <https://www.briqbase.org/sites/default/files/aiab082942.pdf>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2018.

GONÇALVES, H. et al. Utilização Racional de Energia nos Edifícios da Cidade de Lisboa, **INETI**, 2004.

GUINÉE, J. B.; HEINJUNGS, R.; HUPPES, B. H. Life Cycle Assessment : Past , Present and Future, **Environmental Science & Technology**, v. 45, p. 90–96, 2011.

HERNANDEZ, P.; KENNY, P. **Development of a methodology for life cycle building energy ratings**. *Energy Policy*, v. 39, n. 6, p. 3779–3788, 2011.

HOLLBERG, A.; RUTH, J. LCA in architectural design—a parametric approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 21, n. 7, p. 943–960, 2016.

HUIJBREGTS, M. A. J. et al. Is cumulative fossil energy demand a useful indicator for the environmental performance of products? *Environmental Science and Technology*, v. 40, n. 3, p. 641–648, 2006.

HÜNEMEIER, A. P.; MARTINI SPEZIA, A. Desempenho Térmico E Eficiência Energética: Estudo De Caso. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 9, n. 4, p. 320–332, 2018.

IIASA. **International Institute for Applied Systems Analysis**. Disponível em: <<http://www.iiasa.ac.at/>> Acesso em 3 de maio de 2019.

IEA. **2019 Global Status Report for Buildings and Construction**. [s.l: s.n.]. v. 224 Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>.

MATRID PROJECT; INTELLIGENT ENERGY EUROPE (IEE). *Integrated Design Process Guide*. p. 28, 2014. Disponível em: <http://www.buildup.eu/en/practices/publications/integrated-design-process-guide>.

MARCEAU, M. L.; BUSHI, L. MEIL, J. K. ;BOWICK, M. *Life Cycle Assessment for Sustainable Design of Precast Concrete Commercial Buildings in Canada*; **Sustainable Material Institute**, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Anexo geral v – catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **MANUAL RTQ-C**. Versão 4, Rio de Janeiro: INMETRO, 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Manual para Aplicação do RTQ-R**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2014.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Kristin Seyboth (USA). Genebra, Suíça: Gian-Kasper Plattner, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: Novembro 2018.

KHASREEN, M. M.; BANFILL, P. F. G.; MENZIES, G. F. **Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review**. *Sustainability*, v. 1, n. 3, p. 674–701, 2009.

KIERANTIMBERLAKE. **How can we better understand embodied environmental impacts in order to expand the boundaries of sustainable design?**. 2018. Disponível em: <https://kierantimberlake.com/pages/view/95/tally/parent:4>. Acesso em: 20 Outubro de 2018.

KNIJNIK, D. C. **Aplicação da norma ashrae 90.1 e da certificação leed em edificação comercial.** UFRGS, 2011.

KORDJAMSHIDI, M.; KING, S. Overcoming problems in house energy ratings in temperate climates: A proposed new rating framework. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 1, p. 125–132, 2009.

KYLILI, A.; ILIC, M.; FOKAIDES, P. A. Whole-building Life Cycle Assessment (LCA) of a passive house of the sub-tropical climatic zone. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 116, p. 169–177, 2017.

LABEEE, **Desempenho térmico de edificações.** UFSC, CTC - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL, 2016.

LAMBERTS, R. et al. **Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área.** LABEEE, UFSC, n. 1, 2007. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/sustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_areasustentabilidade_nas_edificacoes_contexto_internacional_e_algumas_referencias_brasileiras_na_area.pdf . Acessado em: 20 de Novembro de 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.**, Editora: ELETROBRAS/PROCEL, p. 382, 3º Edição ,2014

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; RAMOS, G. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil.** LABEEE, UFSC, 2006.

LAMNATOU, C. et al. Review and perspectives on Life Cycle Analysis of solar technologies with emphasis on building-integrated solar thermal systems. **Renewable Energy**, v. 75, p. 833–846, 2015.

LARGESTEDT, J.; CONRAD, L.; LINDFORS, L.G. **Functional Priorities in LCA and Design for Environment**,v. 8, n. 3, p. 160–166, 2003.

LU, X.; MEMARI, A. Comparative Energy Analysis and Life-Cycle Assessment of Innovative Residential Wall Systems in Cold Regions. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 24, n. 3, p. 1–17, 2019.

MAIA DE SOUZA, D. et al. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 70–82, 2016.

MANSO, M. et al. Life cycle analysis of a new modular greening system. **Science of the Total Environment**, v. 627, p. 1146–1153, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.198>>

MATTHEWS, H. S.; HENDRICKSON, C. T.; MATTHEWS, D. H. Life cycle assessment: quantitative approaches for decisions that matter. **lcatextbook**, 2015.

MAZZAFERRO, L. **Análise das recomendações da ashrae standard 90.1 para a envoltória de edificações comerciais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC , Florianópolis, 2015.

MEEEX, E. et al. Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. **Building and Environment**, v. 133, n. January, p. 228–236, 2018.

MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise da influência do desempenho térmico dos fechamentos balanço térmico. **XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 2008.

MODLER, N. L.; MARIA, D. Avaliação da eficiência energética da envoltória do bloco acadêmico “A” da ufs/campus erchim. **4º Seminário nacional de construção sustentável**, n. 1, 2014.

MONTEIRO, H.; FREIRE, F. Life-cycle assessment of a house with alternative exterior walls : Comparison of three impact assessment methods. **Energy & Buildings**, v. 47, p. 572–583, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.12.032>>

MORAGA, G. L. **Avaliação do Ciclo de Vida em unidade habitacional unifamiliar do Programa Minha Casa Minha Vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS , Porto Alegre, 2017.

MORALES, M. et al. Regionalized inventory data in LCA of public housing: A comparison between two conventional typologies in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117869, 2019.

MOREIRA, D. D. C.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K.; BELTRAMIN, R. M. G. Dinâmicas que ensinam: a Metodologia De Projeto No Ensino De Arquitetura. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 11, n. 1, p. 55, 2016.

MORISHITA, C. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSC, 2011.

MORONI, A. L. **Análise do desempenho térmico e da eficiência energética de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural na zona bioclimática 2.**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM, 2015.

OKAMOTO, P.S. **Os impactos da Norma Brasileira de Desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

OLIVEIRA, OLIVEIRA, E. A. S. e et al. Human thermal comfort and architectural volume. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 2012, p. 129–135, 2016.

OLIVEIRA, L. A.; MITIDIARI, C. V. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho : análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 7, n. 1, p. 90–100, 2012.

ONU BRASIL. **Desenvolvimento sustentável.** 2019 Disponível em: <https://nacoesunidas.org/saude-humana-ficara-em-apuros-se-acoes-urgentes-nao-forem-tomadas-para-protger-meio-ambiente-alerta-relatorio-global-da-onu/>. Acesso em: 10 de Abril de 2019.

OQUENDO-DI COSOLA, V. et al. An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. **Journal of Environmental Management**, v. 254, p. 109743, 2020.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 28–39, 2009.

PBEEDIFICA, Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Etiquetagem Pública. Edificações Públicas.** Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica> . Acesso em: 12 de Maio de 2019.

RASTOGI, A. et al. Impact of different LEED versions for green building certification and energy efficiency rating system: A Multifamily Midrise case study. **Applied Energy**, v. 205, p. 732–740, 2017.

ROCK et al. LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building construction at early design stages. **Building and Environment**, v. 140, p. 153-161, 2018.

ROAF, S. et al. Twentieth century standards for thermal comfort: Promoting high energy buildings. **Architectural Science Review**, v. 53, n. 1, p. 65–77, 2010.

SAADE, M. R. M. **Influência da alocação de impactos na indústria siderúrgica sobre a avaliação de ciclo de vida de cimentos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2013.

SANSÃO, J. H. **Análise ambiental de alvenarias em blocos: uma discussão baseada na avaliação do ciclo de vida e no desempenho térmico de envoltórias.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Belo Horizonte, 2011.

SANTOS, R. F. C. Sistema monolítico e alvenaria de blocos cerâmicos estudo comparativo como elementos de vedações internas para edificações. Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Rio de Janeiro, 2014.

SAUNDERS, C. L. et al. Analyzing the practice of life cycle assessment: Focus on the building sector Saunders et al. Analyzing the practice of life cycle assessment. **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 5, p. 777–788, 2013.

SCHLUETER, A.; THESSELING, F. Building information model based energy / exergy performance assessment in early design stages. **Automation in Construction**, v. 18, n. 2, p. 153–163, 2009.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR

15575-1. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 215–230, 2014.

SILVA, V. G. Da. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SILVA, V. G. Da; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 3, p. 7–18, 2003.

SILVA, M. M. de A. **Diretrizes para o Projeto de Alvenarias de Vedação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003.

SILVEIRA, F. M. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15575 E ASHRAE 55**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP.2014

SOUZA, L. S. M. et al. Levantamento De Publicações Científicas Brasileiras Para Incremento Do Banco Nacional De Inventários Do Ciclo De Vida (SICV). **Congresso Brasileiro sobre Gestao do Ciclo de Vida**, , p. 775–780, 2018.

TIMM, J., F., G. **Método para elaboração de fichas-técnicas para Compras Públicas Verdes no setor da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PPGI, UFRGS, Porto Alegre, 2019.

UGAYA, C. M. L. et al. **Desenvolvimento de rotas estratégicas nacionais de bases de dados de ACV, incluindo desenvolvimento adicional do serviço de assistência técnica para bases de dados nacionais de ACV**. 2019. Disponível em: [https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2019/06/Rota-Estrat% c3% a9gica-de-Base-de-Dados-de-ACV-Brasil-Linhas.pdf](https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2019/06/Rota-Estrat%c3%a9gica-de-Base-de-Dados-de-ACV-Brasil-Linhas.pdf). Acesso em: 20 de Maio de 2020.

UN Environment. **Global Environment Outlook**. 2019. Disponível em: <https://content.yudu.com/web/2y3n2/0A2y3n3/GEO6/html/index.html?page=8&origin=reader>. Acesso em: 20 Abril de 2019.

VOLF, M. et al. Application of building design strategies to create an environmentally friendly building envelope for nearly zero-energy buildings in the central European climate. **Energy and Buildings**, v. 165, p. 35–46, 2018.

WU, H. et al. **A review of performance assessment methods for construction and demolition waste management**. Resources, Conservation & Recycling, v. 150, p. 104407, 2019.

YANG, Y. Toward a more accurate regionalized life cycle inventory. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 308–315, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.091>>