



XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AValiação DO CICLO DE VIDA DE DIFERENTES ENVOLTÓRIAS PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM FLORIANÓPOLIS

Leticia Dalpaz (1); Matheus Soares Geraldi (2); Enedir Ghisi (3)

(1) Engenheira Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, ledalpaz@gmail.com

(2) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, matheus.s.geraldi@gmail.com

(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir.ghisi@ufsc.br, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Caixa Postal 476, Florianópolis - SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721-2115

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é selecionar o conjunto de componentes construtivos com menor impacto ambiental para uso em habitações de interesse social (HIS) em Florianópolis por meio da avaliação do ciclo de vida (ACV). Foi desenvolvido um projeto arquitetônico e foram calculados os impactos ambientais utilizando quatro componentes construtivos de parede, três de esquadria e três de cobertura. Para as paredes, considerou-se o uso de tijolo cerâmico com revestimento, tijolo de adobe com revestimento de argamassa de terra com cal e bloco de concreto celular com e sem revestimento. Para as esquadrias utilizou-se madeira, alumínio e PVC. Para as coberturas foram consideradas telhas de fibrocimento e cerâmica e forro de madeira ou laje maciça de concreto. Aplicou-se simulação computacional por meio do programa *EnergyPlus* para calcular o consumo energético anual para cada combinação de sistemas utilizados; o resultado foi utilizado como dado de entrada para a ACV. O conjunto que apresentou menor consumo energético foi o composto por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento, esquadrias em madeira e com cobertura de telha cerâmica com laje maciça. A ACV foi realizada por meio do programa *SimaPro*. Concluiu-se que o conjunto de menor impacto ambiental foi o composto por parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto. Além disso, o conjunto com o menor impacto ambiental não coincidiu com o de menor consumo energético anual determinado por simulação.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida, simulação computacional de edificações, habitações de interesse social.

ABSTRACT

The main objective of this work is to select the set of construction components with the lowest environmental impact to use in social interest houses in Florianópolis by means of life cycle assessment (LCA). An architectural design was developed and four walls, three window frames and three roofs were tested. For the walls it was considered the use of ceramic brick with coating, adobe brick with lime earth mortar and autoclaved concrete cellular blocks with and without coating. Wood, aluminum and PVC were used for the window frames. For the roofs it was considered fibercement and ceramic tiles with wooden ceiling or solid concrete slab. The simulations were performed using the *EnergyPlus* program; the results were used as input data for the LCA. The set of construction components that presented the lowest energy consumption was the wall composed of autoclaved concrete cellular block with coating, window frames made of wood and roof composed of ceramic tile with solid concrete slab. The LCA was performed using the *SimaPro* program. It was concluded that the set with the lowest environmental impact was composed of adobe brick wall, wood frames and roof composed of ceramic tile and solid concrete slab. In addition, the set with the lowest environmental impact did not coincide with the lowest annual energy consumption obtained by means of simulation.

Keywords: life cycle assessment, computational simulation of buildings, social interest houses.

1. INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, além de representar parcela significativa da economia no Brasil, é um importante influenciador no consumo mundial de recursos naturais e energia elétrica (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BRASIL, 2017; IEA, 2017). Apesar disso, é o setor que apresenta o maior potencial e oportunidades na economia de energia e redução de emissão de carbono (KYLILI; ILIC; FOKAIDES, 2017).

Devido à maior conscientização dos impactos provocados pelas edificações, cresceu a busca pelo desenvolvimento de projetos que apresentem baixo consumo energético ao longo de seu uso (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013). Dentre as estratégias utilizadas para esse fim, o condicionamento passivo das edificações influencia na escolha dos materiais utilizados, tendo as características climáticas do local em que o projeto será construído como critério para sua seleção (PEREIRA; GHISI, 2011).

Além disso, certificações como a LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) e a BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) apresentam consolidação no mercado e têm sido cada vez mais valorizadas. Entretanto, o surgimento de uma visão mais ampla e ambientalmente consciente sobre o mercado levou ao interesse pela análise de todo o ciclo de vida dos produtos e serviços oferecidos. Para suprir essa demanda, tornou-se necessário o desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação ambiental holística (CURRAN, 2013).

Apesar da classificação estabelecida por essas e outras certificações, o método de avaliação do ciclo de vida (ACV) apresenta-se como uma ferramenta muito mais detalhada e completa para avaliação dos impactos provocados pelas edificações. A análise de todo o ciclo de vida de um empreendimento permite a identificação dos principais influenciadores dos potenciais impactos ambientais causados, facilitando a tomada de decisões para redução dos encargos ambientais. Sem essa visão global é possível que decisões sejam tomadas de forma a alterar somente o tipo de impacto que é causado, ou então apenas alterá-lo de lugar dentro do ciclo (ASADOLLAHFARDI; ASADI; KARIMI, 2015; BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; CURRAN, 2013; RASHID; YUSOFF, 2015).

De acordo com a análise histórica desenvolvida por Buyle, Braet e Audenaert (2013), os primeiros estudos relacionados à avaliação do ciclo de vida (ACV) apareceram entre os anos de 1960 e 1970. Com o envolvimento de instituições, foram desenvolvidos documentos e procedimentos para o uso da avaliação do ciclo de vida, atraindo e unindo profissionais interessados na aplicação do método. Dentre eles, destacam-se a NBR ISO 14040 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura e o Manual do *International Reference Life Cycle Data System* (ILCD), desenvolvido pela Comissão Europeia de Produção e Consumo Sustentável e Plano de Ação Sustentável em Política Industrial (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; RASHID; YUSOFF, 2015; VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

Apesar de sua análise considerar todo o ciclo de vida do produto ou serviço, a ACV não tem como finalidade prever impactos ambientais de forma precisa ou absoluta, uma vez que sua metodologia depende da unidade de referência adotada (ABNT, 2014). Por causa de algumas de suas limitações, os resultados encontrados com a aplicação desse método devem ser interpretados e utilizados de forma criteriosa. Dentre elas pode-se citar a determinação do tempo de vida útil, o clima, regulamentações locais, a falta de padronização do método, a variação da energia embutida de materiais e requisitos de conforto utilizados (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013; VAN OOTEGHEM; XU, 2012).

A avaliação do ciclo de vida representa uma simplificação da realidade, apresentando aproximações e incertezas. Além das dificuldades de prevenção do comportamento dos usuários, a ACV não leva em conta questões estéticas, de qualidade ou estruturais, e poucos estudos são realizados considerando questões econômicas e ambientais concomitantemente (BUYLE; BRAET; AUDENAERT, 2013).

Por causa do grande déficit habitacional existente no mundo, políticas públicas são indispensáveis para que famílias de baixa renda adquiram suas próprias casas (LOPES, 2010). O Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) facilita a construção de habitações de interesse social no Brasil. Entretanto, os projetos utilizados não consideram os impactos ambientais com a sua construção, sendo replicados em diferentes zonas bioclimáticas e desenvolvidos sem a adoção de medidas de eficiência energética (MONTES, 2016). Além disso, sua qualidade é prejudicada pela busca da redução de custos e dos curtos prazos de entrega (LOPES, 2010).

Bosa (2017) avaliou o potencial de melhoria do desempenho térmico em seis edificações construídas pelo PMCMV em Araranguá/SC. As edificações foram avaliadas por meio do processo de etiquetagem de residências, que faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PBE EDIFICA, 2018). Através de modificações nas aberturas, escolha dos materiais e cores foi possível obter melhora de mais de 50% na nota final de classificação das edificações estudadas (BOSA, 2017). Considerando o grande número de

residências construídas através do programa, que supera a marca de 1,2 milhões em todo o país, a economia de energia obtida através do estudo e melhoramento desses projetos é muito significativa (BOSA, 2017).

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é selecionar um conjunto de componentes construtivos de parede, esquadria e cobertura com menor impacto ambiental para uso em habitações de interesse social na região de Florianópolis.

3. MÉTODO

O método desenvolvido para realização desse trabalho consistiu em quatro etapas principais (Figura 1), detalhadas a seguir.

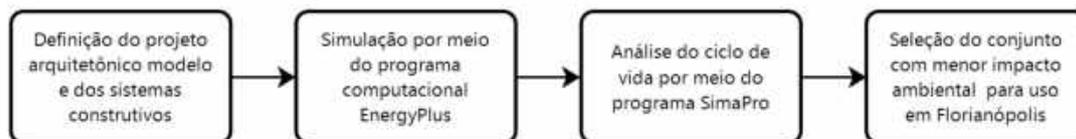


Figura 1 - Etapas do método desenvolvido.

3.1. Projeto arquitetônico modelo e definição dos sistemas construtivos

Como a análise desenvolvida é voltada para edificações construídas na região da Grande Florianópolis, as exigências mínimas do Código de Obras e Edificações local foram cruzadas com as estabelecidas pelo Programa Minha Casa Minha Vida para definição da quantidade e tamanho dos cômodos considerados.

Para o levantamento das características predominantes nos projetos arquitetônicos financiados pelo PMCMV na região, foi desenvolvida uma busca no mercado local por meio de sites de compra e venda. Foram levantadas informações a respeito da localização, área total, quantidade e divisão dos cômodos e uso de aparelhos de refrigeração. Os projetos analisados apresentaram área total entre 50 m² e 83 m² e, em sua maioria, dois dormitórios e um banheiro. A sala de estar e a cozinha não eram integradas somente em um dos projetos estudados e em todos a área de serviço não tinha um cômodo exclusivo. Para as edificações nas quais foi possível avaliar o uso de ar-condicionado, todas apresentavam pontos de instalação nos quartos e nenhum na sala de estar/cozinha. Sobre a orientação do projeto, apenas três comentaram ter boa ventilação e insolação, sendo todos da mesma construtora. A Figura 2 apresenta a planta baixa desenvolvida.

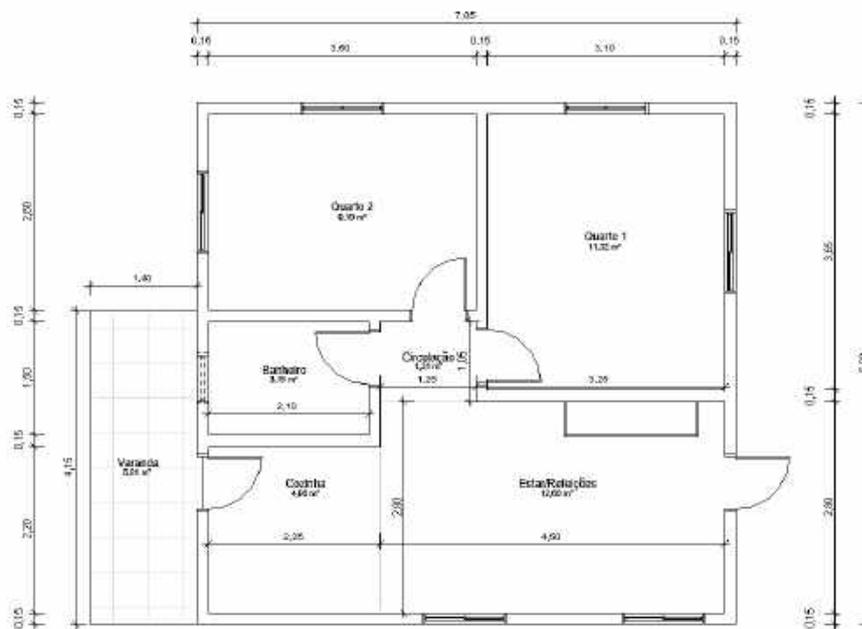


Figura 2 – Planta baixa definida para o projeto arquitetônico modelo utilizado.

Para definir quais materiais seriam utilizados foram considerados três critérios de pesquisa: frequência de uso nas edificações construídas na cidade de Florianópolis por meio do financiamento do PMCMV, frequência de uso em empreendimentos desenvolvidos com a aplicação de conceitos de arquitetura

sustentável e materiais que estivessem em alta no mercado. A identificação dos materiais que seguem os critérios adotados foi feita por meio de revisão bibliográfica e pesquisa no mercado local. Além disso, consideraram-se somente paredes que não exigissem alteração no projeto estrutural da edificação.

Os projetos da estrutura e das instalações hidráulicas e elétricas foram considerados iguais para todos os casos. Essa padronização permite que suas influências sejam desconsideradas na avaliação do ciclo de vida, que será utilizada de forma comparativa entre os conjuntos. Com isso, o levantamento de quantitativo de materiais para esses sistemas é dispensável. A Figura 3 apresenta as quatro paredes selecionadas para análise.

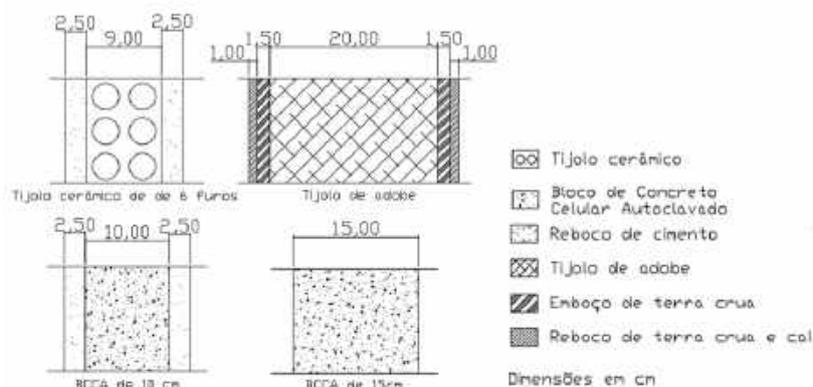


Figura 3 - Paredes selecionadas para análise.

Com o objetivo de considerar os principais cenários, o uso do alumínio, PVC e da madeira foram considerados nas esquadrias. Todas as janelas foram consideradas sem o uso de veneziana e as portas sem o uso de vidro.

Os tipos de cobertura analisados são compostos pela telha e pelo forro. As características desses elementos foram definidas como sendo aquelas que apresentaram maior frequência de uso em Ghisi et al. (2015). Para avaliar a influência do uso de laje para fechamento horizontal da edificação no ciclo de vida, considerou-se a laje maciça em um dos componentes construtivos. A Tabela 1 apresenta a composição final das coberturas consideradas.

Tabela 1 - Coberturas selecionadas para análise.

Tipo	Telha	Forro
1	Fibrocimento	Madeira
2	Cerâmica	Madeira
3	Cerâmica	Laje maciça de concreto

3.2. Simulação computacional

Para se obter o consumo anual de energia de cada combinação, foi realizada simulação computacional com o programa *EnergyPlus*. Os dados de entrada exigem informações sobre o clima local, a geometria da edificação, os materiais utilizados em cada componente e suas características térmicas e os dados de operação, que consideram a ocupação, o uso de equipamentos e a abertura das esquadrias (UNITED STATES, 2018).

Apesar da maioria dos projetos construídos na região de Florianópolis apresentar refrigeração artificial somente nos quartos, o uso do equipamento de condicionamento de ar foi considerado nos quartos e no ambiente integrado de sala e cozinha para simular o cenário de maior consumo provável. O equipamento foi utilizado para resfriamento e aquecimento, sendo acionado quando a temperatura ambiente estava fora da faixa de 20°C a 24°C.

Além da variação dos componentes construtivos selecionados, a orientação da edificação foi alterada de 90° em 90° no sentido horário. A Figura 4 apresenta as diferentes orientações e o valor angular considerado para cada uma delas.

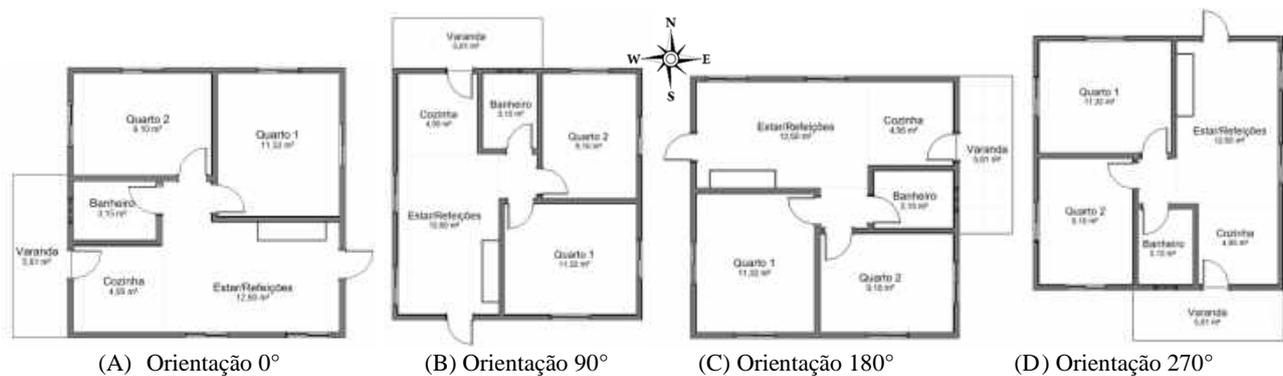


Figura 4 - Orientações e nomenclaturas adotadas para simulação da edificação.

A geometria da edificação e a divisão em zonas térmicas foram modeladas no programa *SketchUp*, com o uso da extensão *Euclid*. Em seguida, as informações foram importadas para o *EnergyPlus*. As zonas térmicas foram definidas seguindo a divisão dos cômodos, de forma a permitir a análise do conforto térmico por ambiente. Adotou-se pé-direito de 2,60m.

O arquivo climático utilizado é referente à cidade de Florianópolis com data base de 2016, disponível no site do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina. Ele faz parte do projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*.

Como não foi avaliada a influência da mudança da cor utilizada nas paredes, as absorptâncias solar e visível foram fixadas em 35%. Esse valor pode equivaler às cores branca, azul, verde, laranja, amarelo, salmão e bege (GHISI et al., 2015). As características dos materiais foram obtidas por meio de revisão bibliográfica. O padrão de ocupação, de uso de equipamentos, de iluminação e de abertura de esquadrias foi definido por Ghisi et al. (2015).

Para a análise dos dados foram consideradas as horas de desconforto e o consumo energético anual da edificação. O método de cálculo das horas de desconforto utilizado foi o definido pela ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013.

3.3. Avaliação do ciclo de vida

A avaliação do ciclo de vida foi desenvolvida seguindo as etapas de definição do objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos dados obtidos.

3.3.1. Objetivo e escopo

O objetivo da análise do ciclo de vida é determinar os impactos sobre o meio ambiente de cada caso dentro das fronteiras estabelecidas, tornando possível a comparação entre os resultados obtidos. Os critérios utilizados para definição da fronteira de análise consideraram as limitações do trabalho e o objetivo do estudo. Para o desenvolvimento da ACV considerou-se como unidade funcional a construção e operação de um ano da edificação. Optou-se por essa escolha para evitar o mascaramento do impacto de fabricação dos materiais ao longo do ciclo de vida e as incertezas de previsão de consumo.

Ao longo da operação da edificação não foram consideradas reformas, e o descarte final dos materiais também não foi contabilizado. A energia consumida ao longo da operação da edificação foi considerada de acordo com o resultado da simulação computacional para cada caso analisado. O impacto das infraestruturas, como construção das fábricas e máquinas utilizadas, não foi considerado. A distância de distribuição dos materiais foi medida pela mediana dos três principais fornecedores de cada material para a região de Florianópolis.

3.3.2. Inventário do ciclo de vida

Para quantificação dos materiais, o levantamento das áreas foi realizado computacionalmente por meio do programa *Revit*, evitando o uso de estimativas. A quantificação dos insumos considerados no inventário foi baseada nas composições unitárias das Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO, 2010), em manuais de boas práticas referentes aos componentes construtivos considerados e em pesquisa aos fornecedores locais para informações sobre os produtos.

3.3.3. Avaliação dos impactos

O programa utilizado para a avaliação do ciclo de vida foi o *SimaPro*. O método de cálculo definido para uso foi a versão 2.1 do *IMPACT 2002+*, conforme Lasso (2013). Por meio dele são considerados os métodos clássicos e os mais recentes de previsão de impacto. O método clássico quantifica os impactos considerados como *midpoint*, que compõem o início da cadeia de causa e efeito. As abordagens utilizadas recentemente caracterizam os impactos conhecidos como *endpoint*, agrupando os impactos em categorias de dano (HUMBERT et al., 2012). O banco de dados utilizado foi o *Ecoinvent* e o *Idemat 2001*. A Tabela 2 apresenta as categorias de impacto e as de dano obtidas como resultado da avaliação do ciclo de vida com o método de cálculo *IMPACT 2002+*.

Tabela 2 - Impactos e categorias de dano obtidas na avaliação do ciclo de vida, e suas respectivas unidades (HUMBERT et al., 2012).

Categorias de impacto (midpoint)	Unidade	Categorias de dano (endpoint)	Unidade
Carcinógenos	DALY	Saúde humana	DALY
Não carcinógenos	DALY		
Inorgânicos respiráveis	DALY		
Radiação ionizante	DALY		
Depleção da camada de ozônio	DALY		
Orgânicos respiráveis	DALY		
Ecotoxicidade aquática	PDF*m ² *ano	Qualidade do ecossistema	PDF*m ² *ano
Ecotoxicidade terrestre	PDF*m ² *ano		
Acidificação/eutrofização terrestre	PDF*m ² *ano		
Ocupação do solo	PDF*m ² *ano		
Potencial de aquecimento global	kg CO ₂ eq	Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq
Energia não renovável	MJ primário	Recursos	MJ primário
Extração mineral	MJ primário		

Notas: DALY representa o valor de anos de vida ajustados por incapacidade, considerando tanto os anos de vida por falecimento prematuro como os anos de vida com qualidade reduzida devido a doenças. PDF*m²*ano representa a fração potencial de espécies desaparecidas em um m² ao longo de um ano.

3.3.4. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida

A interpretação dos dados obtidos com a avaliação do ciclo de vida ocorreu em duas etapas principais. Conforme indicado por Humbert et al. (2012), iniciou-se com a consideração das categorias de dano. Para isso, analisaram-se os valores dos impactos obtidos para as quatro categorias definidas. As variações no impacto menores que 10% foram desconsideradas por não serem significativas devido às incertezas existentes na avaliação do ciclo de vida. Foram selecionados os 25 casos com menor impacto para cada categoria de dano. Consideraram-se apenas uma vez os conjuntos que se repetiram entre as categorias.

Para a seleção do conjunto ambientalmente mais adequado para uso na cidade de Florianópolis, foi realizado um processo de normalização, onde os valores absolutos das categorias de impacto dos casos selecionados foram transformados em percentuais, sendo considerado como 100% o maior valor obtido entre as categorias de impacto com a mesma unidade de medida. Em seguida, foi realizado um processo de agregação simples, onde os percentuais foram somados com o objetivo de identificar o conjunto com menor percentual acumulado entre as categorias de impacto.

4. RESULTADOS

4.1. Análise dos resultados da simulação computacional

Os resultados obtidos com a simulação foram avaliados por meio dos critérios de horas de desconforto térmico e pelo consumo energético anual de operação da edificação. A Figura 5 apresenta o total de horas de desconforto por calor e frio para cada orientação conforme o conjunto de componentes construtivos adotados.

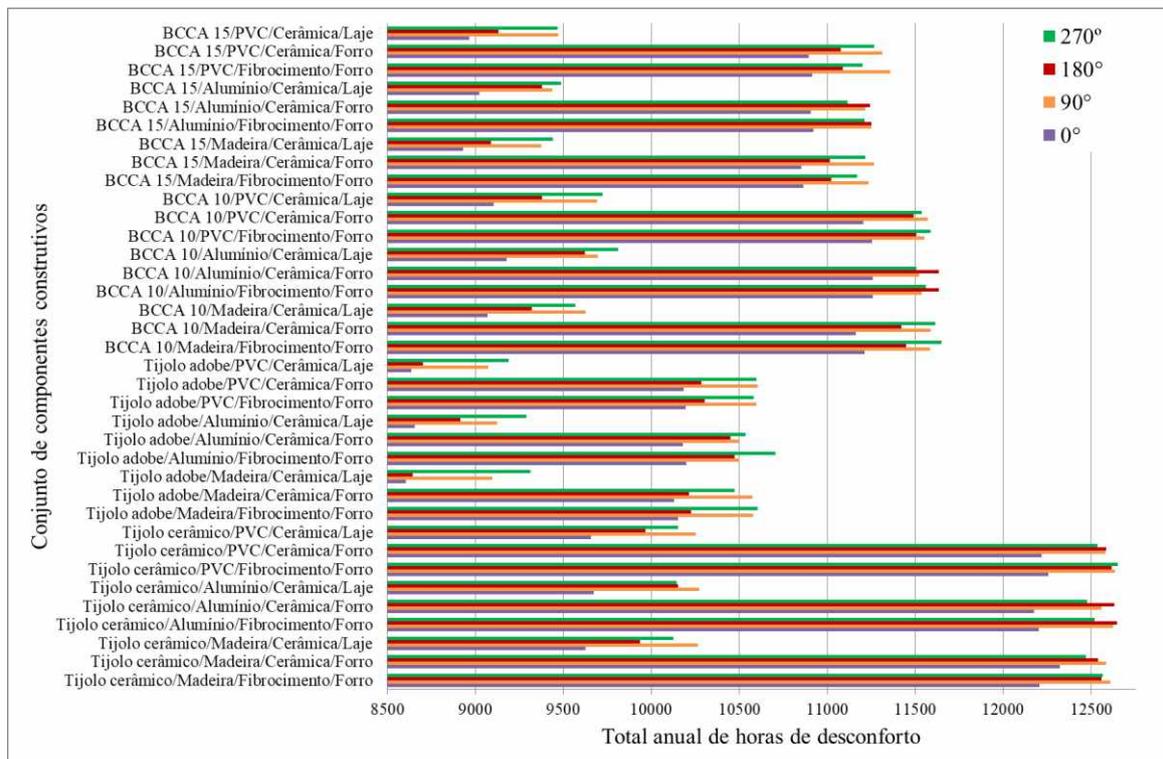


Figura 5 – Total anual de horas de desconforto para cada componente construtivo conforme sua orientação.

Comparando as orientações, a definida como 0° (quartos orientados a norte) foi a que apresentou menor quantidade de horas de desconforto para cada conjunto de componentes construtivo analisado. A orientação de 180° apresentou seis casos em que somou a maior quantidade de horas de desconforto. As orientações de 90° e 270° foram as que apresentaram maiores frequências do total de horas de desconforto, apresentando dezesseis e quatorze ocorrências, respectivamente. Ressalta-se que o único elemento de sombreamento considerado foi o prolongamento da cobertura na área de serviço, não sendo considerado o beiral da cobertura ao redor da edificação ou venezianas nas janelas.

A cobertura apresentou comportamento similar para todos os casos. O terceiro modelo de cobertura, com telha cerâmica e laje de concreto, resultou em um valor total de horas de desconforto significativamente menor que os conjuntos com os outros modelos de cobertura. Essa variação está associada ao uso da laje maciça de concreto no lugar do forro de madeira.

Para verificar a relação entre o total anual de horas de desconforto em função do consumo energético anual, foi realizada uma análise de regressão linear a partir dos resultados observados. A Figura 6 apresenta a linha de tendência obtida para cada orientação e o coeficiente de determinação (R²).

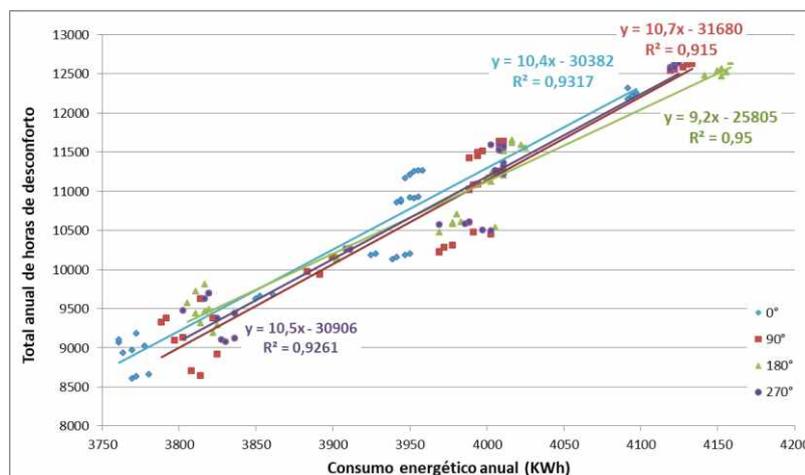


Figura 6 - Relação do total anual de horas de desconforto e o consumo energético anual.

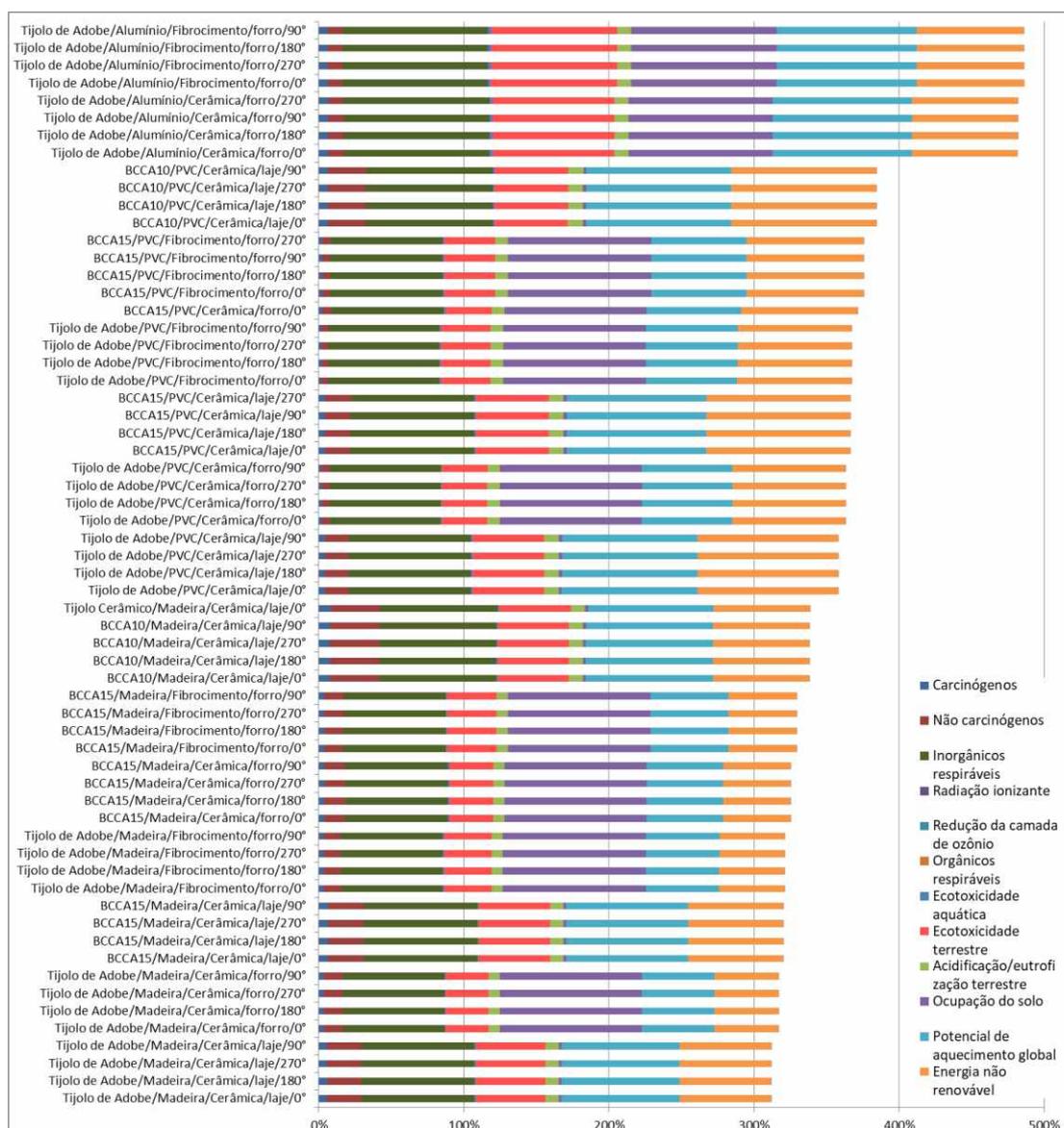
O consumo energético entre as orientações não seguiu a mesma taxa de crescimento conforme o aumento das horas de desconforto, apesar de muito semelhantes. A orientação com maior crescimento foi a

de 180°, que apresenta a maior fachada da sala orientada para o norte e os quartos orientados para sul. A orientação que obteve menor taxa de crescimento foi a de 270°, que tem a maior fachada da sala orientada para o leste e os quartos orientados para oeste.

Por meio da análise dos dados obtidos com a simulação foi possível perceber que as orientações que tiveram um total maior de horas de desconforto por calor apresentaram valores maiores de consumo energético. Os conjuntos que apresentaram os menores valores de consumo energético foram aqueles compostos por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento de argamassa e cobertura com telha cerâmica e laje maciça, variando o material da esquadria em madeira e PVC. A orientação dos casos selecionados seguiu o padrão obtido para as horas de desconforto, com a orientação de 0° apresentando o menor valor.

4.2. Interpretação dos dados de impacto ambiental do ciclo de vida

O impacto utilizado para as categorias de dano considerou a construção da edificação e o primeiro ano de consumo. Foram selecionados todos os conjuntos que apareceram pelo menos uma vez entre as 25 edificações com menor valor de impacto para cada categoria de dano. A seleção resultou em 62 conjuntos. Em seguida, os percentuais de cada categoria de impacto foram somados. O resultado é apresentado na Figura 7.



Apesar da maior frequência de ocorrência para a orientação 0°, não houve destaque significativo para nenhuma orientação. Para as paredes, a composta por tijolo de adobe apresentou ocorrência em mais da metade das edificações. Para os componentes construtivos de cobertura, a de telha cerâmica com laje maciça

de 10cm teve destaque, ocorrendo em 52% dos casos. No entanto, não houve diferença significativa entre as outras coberturas. A esquadria de alumínio foi a que obteve menor frequência. Para as esquadrias de madeira e PVC não houve diferença significativa no valor de ocorrência.

O conjunto de componentes construtivos que apresentou menor valor de impacto com a avaliação do ciclo de vida considerando a construção e o primeiro ano de operação da edificação foi o composto por parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto. Esse conjunto apresentou menor valor para todas as orientações analisadas. O segundo conjunto com o menor valor de impacto no ciclo de vida apresentou variação somente na cobertura em relação ao anterior, utilizando o forro de madeira no lugar da laje maciça. Nenhuma das combinações citadas acima foi a que recebeu destaque para menor consumo energético, apresentando a importância da consideração do ciclo de vida de toda a edificação quando se almeja a criação de um projeto de baixo impacto ambiental.

5. CONCLUSÕES

Por meio deste estudo foi possível avaliar o ciclo de vida de diferentes conjuntos de parede, esquadria e cobertura. A simulação computacional desenvolvida permitiu a obtenção do consumo de energia anual dos diferentes casos analisados e a sua relação com os materiais e orientações utilizados.

A partir da simulação computacional obteve-se o total de horas anuais de desconforto por calor e frio e o consumo energético por conjunto. Inicialmente o total de horas de desconforto foi analisado, permitindo a comparação de desempenho entre as orientações. As que apresentaram menor valor de horas de desconforto foram as que tiveram os ambientes de longa permanência com as maiores fachadas voltados para norte e sul.

Correlacionando as horas de desconforto com o consumo energético anual da edificação, verificou-se que houve variação no consumo energético entre as orientações mesmo com valores equivalentes de horas de desconforto. Essa variação ocorre principalmente pelo distanciamento da temperatura em relação à zona de conforto estabelecida.

Considerando o consumo de energia para condicionamento de ar da unidade habitacional simulada, o desempenho térmico dos componentes construtivos utilizados foi semelhante entre as orientações analisadas, indicando que não há mudança no padrão de desempenho dos materiais devido à alteração da orientação para a mesma zona térmica.

O conjunto que apresentou menor valor de consumo energético anual foi o composto por parede de bloco de concreto celular autoclavado com revestimento, esquadrias em madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça. A orientação foi de 0°, que tem a maior fachada da sala orientada a sul e os quartos para o norte.

A interpretação dos dados obtidos com a avaliação do ciclo de vida permitiu a identificação de algumas tendências entre os componentes construtivos estudados. Para as paredes, a composta por tijolo de adobe destacou-se com menor impacto ao longo do ciclo de vida. Entretanto, a parede de blocos de concreto celular de 15cm de espessura sem revestimento também apresentou desempenho satisfatório. Para as esquadrias não houve diferença significativa, porém, a esquadria de alumínio apresentou maior valor de impacto no ciclo de vida. Para as coberturas, a variação das telhas não apresentou influência significativa no ciclo de vida. O uso de forro ou laje maciça para a vedação horizontal da edificação teve grande variação no impacto ambiental. Para a construção da edificação, o uso de laje maciça aumenta de forma significativa o impacto no ciclo de vida. Entretanto, a redução do consumo energético provocada pelo seu uso apresenta resultados positivos. É importante ressaltar que o consumo energético faz referência a uma edificação de interesse social de um pavimento com quatro habitantes. Padrões de consumo diferentes podem apresentar variação no valor de impacto ao longo do ciclo de vida.

Por meio da análise desenvolvida considerando inicialmente as categorias de dano e em seguida as categorias de impacto, selecionou-se o conjunto com menor impacto no ciclo de vida para uso em habitações de interesse social em Florianópolis. Considerou-se a construção e o primeiro ano de operação da edificação. O conjunto selecionado é composto por parede de tijolo de adobe, esquadrias de madeira e cobertura com telha cerâmica e laje maciça de concreto.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ANSI (Approved American National Standard), 2013.
- ASADOLLAHFARDI, G.; ASADI, M.; KARIMI, S. Life-Cycle Assessment of Construction in a Developing Country. **Environmental Quality Management**, v. 24, n. 4, p.11-21, jun. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.21398>.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2014. 21 p.
- BOSA, Augusto Macarini. **Análise de Eficiência Energética de Projetos de Residências do Programa Minha Casa Minha Vida**. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: Epe, 2017. 292 p.
- BUYLE, Matthias; BRAET, Johan; AUDENAERT, Amaryllis. Life cycle assessment in the construction sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 26, p.379-388, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.001>.
- CURRAN, Mary Ann. Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. **Current Opinion in Chemical Engineering**, Cincinnati, v. 2, n. 3, p.273-277, ago. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.coche.2013.02.002>.
- GHISI, EneDir; VIEIRA, Abel Silva; ROSA, Aline Schaefer da; MARINOSKI, Ana Kelly; SILVA, Arthur Santos; BALVEDI, Bruna Faitão; ALMEIDA, Laiane Susan Silva. **Uso racional de água e eficiência energética em habitações de interesse social**: Volume 1– Hábitos e indicadores de consumo de água e energia. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, 2015. 82 p.
- HUMBERT, Sébastien ; SCHRYVER, An De; BENGGOA, Xavier; MARGNI, Manuele; JOLLIET, Olivier. **IMPACT 2002+**: User guide. Quantis, 2012. 40 p.
- IEA, International Energy Agency. **World Energy Outlook 2017**. 2017. Disponível em: <<http://www.iea.org/weo2017/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.
- KYLILI, Angeliki; ILIC, Milos; FOKAIDES, Paris 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, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.010>.
- LASSIO, João Gabriel Gonçalves de. **APLICAÇÃO DO PROGRAMA SIMAPRO NA AVALIAÇÃO DOS CICLOS DE VIDA DOS MATERIAIS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO PARA UM CONJUNTO HABITACIONAL**. 2013. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- LOPES, Thiago do Prado. **Desempenho térmico de habitações de interesse social com diferentes sistemas construtivos em Santa Catarina**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- MARINOSKI, Deivis Luis. **Relatório de avaliação de propriedades térmicas de paredes de alvenaria de vedação em blocos de concreto celular autoclavado**. CELUCON INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE CONCRETOS LTDA. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE, 2015.
- MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem Integrada no Ciclo de Vida de Habitações de Interesse Social considerando Mudanças Climáticas**. 2016. 573 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- PBE EDIFICA (São Paulo). Grupo Técnico Para Melhoria da Eficiência Energética nas Edificações (Ed.). **O que é a etiqueta PBE Edifica?** Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica>>. Acesso em: 12 mar. 2018.
- PEREIRA, Cláudia Donald; GHISI, EneDir. The influence of the envelope on the thermal performance of ventilated and occupied houses. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 12, p.3391-3399, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.001>.
- RASHID, Ahmad Faiz Abd; YUSOFF, Sumiani. A review of life cycle assessment method for building industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 244-248, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.043>.
- TCPO, **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. - 13 ed. - São Paulo: Pini, 2010. ISBN 978-85-7266-201-7.
- U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **EnergyPlus™ Version 8.8.0 Documentation**: Engineering Reference. Estados Unidos, 2018. 1716 p.
- VAN OOTEGHEM, Kevin; XU, Lei. The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada. **Building and Environment**, v. 49, p.212-226, mar. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.09.028>.