

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL: GESTÃO,
TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE

LUIZA COUTINHO BERNARDES

ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM
EMPREGO DE COBERTURA VERDE

Porto Alegre

2019

LUIZA COUTINHO BERNARDES

**ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM
EMPREGO DE COBERTURA VERDE**

Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construção Civil, pelo Curso de Especialização em Construção Civil: Gestão, Tecnologia e Sustentabilidade da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientadora: Prof^a Dr^a. Maria Fernanda de Oliveira

Porto Alegre

2019

ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR COM EMPREGO DE COBERTURA VERDE

Luiza Coutinho Bernardes*

Maria Fernanda de Oliveira**

Resumo: A construção civil é um dos setores da economia que mais consomem recursos naturais e geram resíduos. No processo de fabricação os materiais industrializados consomem quantidade significativa de energia elétrica e liberam CO₂. Este estudo tem como objetivo analisar o conforto térmico em uma residência unifamiliar com o uso de coberturas sustentáveis que ajudam a reduzir os impactos da construção civil no meio ambiente. O método consiste em uma análise por meio de simulação computacional no *software* EnergyPlus de conforto térmico pelo método de conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017) na zona bioclimática 3, comparando a cobertura verde com telhas ecológicas e com uma cobertura convencional de telha cerâmica. Na coleta de dados observou-se que a cobertura verde foi a cobertura com maior nível de conforto térmico, seguido da cobertura com telha cerâmica, entre as coberturas ecológicas a de fibra vegetal teve um nível de conforto maior que a telha de Tetra Pak®. A camada do substrato da cobertura verde contribuiu para os resultados oferecendo o isolamento térmico, enquanto o índice de área foliar relacionado ao ganho de calor. Com os resultados das simulações, levando em consideração os aspectos construtivos e ao clima do caso estudado, pode-se concluir que a cobertura verde apresentou melhor nível de conforto térmico no interior da edificação.

Palavras-chave: Conforto térmico. Simulação Computacional. Cobertura verde. Telha ecológica.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores da economia que mais consomem recursos naturais e geram grandes quantidades de resíduos, desde a produção dos materiais, execução da obra e operação do edifício. Conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (2019), no Brasil, os edifícios consomem mais de 45% de energia elétrica, e esse percentual está crescendo mais rápido do que a economia. A racionalização e eficiência podem trazer uma redução no uso dos recursos

* Arquiteta e Urbanista graduada pela UCPel (2017). Estudante de pós-graduação lato sensu em Construção Civil na UNISINOS (2018-2019), e-mail: luizabernardes.arq@gmail.com.

** Arquiteta e Urbanista graduada pela Unisinos (1994), Mestre em Construção pela UFSM (1998), Doutora em Engenharia pela UFRGS (2007), e-mail: mariaon@unisinos.br.

naturais, e também trazer vantagens para a sociedade e o meio ambiente como um todo.

Conforme Barbosa (2005) os primeiros materiais de construção a serem utilizados pelo homem foram aqueles disponíveis na natureza, como pedra, palha, troncos de árvores, terra, entre outros. Foram construídas as pirâmides do Egito, palácios da Pérsia, obras feitas em uma época quando não se conhecia o aço, o alumínio, nem o cimento Portland. Após a revolução industrial começaram a ser utilizados materiais hoje conhecidos como materiais de construção convencionais, ou industrializados. A difusão dos materiais industrializados ocasionou o esquecimento da busca por novos materiais. No processo de fabricação os materiais industrializados consomem quantidade significativa de energia elétrica, consomem oxigênio e liberam CO₂ e outros poluentes responsáveis por chuvas ácidas e o efeito estufa, produzem grande volume de resíduos, além de terem um custo elevado.

Com o processo de industrialização, surgiu a degradação do meio ambiente e com o tempo iniciou-se a linha de pensamento voltada para a sustentabilidade, em minimizar os impactos causados pela atuação do homem na natureza. Com isso são adotados métodos construtivos novos e antigos, como o caso das Coberturas Verdes, adotada pela melhoria de problemas recorrentes das cidades, como enchentes, ruídos, altas temperaturas, entre outras. (MACHADO, 2017)

Para a análise deste trabalho foram escolhidos tipos de coberturas consideradas sustentáveis que ajudam a reduzir os impactos da construção civil no meio ambiente. A cobertura é o elemento externo que recebe maiores ganhos de calor proveniente da radiação solar, e que possui grande potencial para utilização de estratégias de melhoria do conforto térmico. Este trabalho tem como objetivo avaliar o conforto térmico em uma residência unifamiliar com o uso de cobertura verde em comparação a coberturas de telha ecológica.

1.1. Coberturas Verdes

Os registros mais antigos da tecnologia do telhado vegetado datam de 600 a.C. nos Jardins Suspensos da Babilônia, uma das Sete Maravilhas do Mundo Antigo, primeiramente com objetivo estético, outros registros foram encontrados em

civilizações da antiga Mesopotâmia, Romanos e povos Nórdicos (DIAS, 2016). De acordo com Ferreira e Moruzzi (2007) na Escandinávia era utilizado com objetivo de isolamento térmico, na camada superior com terra e grama formando as camadas de vegetação e substrato concebendo o isolamento térmico, e possuindo na camada de baixo vigas de madeira intercaladas com cascas de árvores atuando como impermeabilização do telhado.

A partir de 1920, Le Corbusier começou a utilizar as coberturas jardins, o objetivo era recuperar os espaços ociosos das coberturas em jardins e reinseri-las na natureza. Deu-lhes o nome de “Terraços Jardins”, e os incluiu como um dos cinco princípios do modernismo (Figura 1) (BLANCO, 2012). No Brasil esse sistema foi aplicado pela primeira vez no edifício do Ministério da Educação e Saúde conforme Figura 2, atual Palácio Gustavo Capanema, 1945, pelo arquiteto Lúcio Costa, sob consultoria de Le Corbusier e paisagismo do Roberto Burle Marx (MACHADO, 2017).



Figura 1: Terraço Jardim Le Corbusier.



Figura 2: Ministério da Educação e Saúde.

De acordo com Ferreira e Moruzzi (2007), no início dos anos 70, começou na Alemanha o desenvolvimento da tecnologia da cobertura verde. Organizações privadas, universidades e centros de pesquisas iniciaram pesquisas e estudos. Foram desenvolvidas as primeiras coberturas com balanço energético, sistema de drenagem, impermeabilização, planejamento e dimensionamento. Em 1982, a FLL (*Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau*) – Sociedade de Pesquisa em Desenvolvimento e Construção da Paisagem, lança "*Principles for Green Roofing*" - "*Princípios para coberturas verdes*", diretrizes e especificações técnicas para coberturas verdes no país. A partir dessas pesquisas a Alemanha se

tornou uma das principais fontes de bibliografia, o telhado verde foi reconhecido como uma importante tecnologia para a sustentabilidade em áreas urbanas, e, no final dos anos 70 houve um crescimento de pesquisas sobre o assunto na Europa (FERREIRA, MORUZZI, 2007) (MACHADO, 2017).

1.2. Telhas Ecológicas

Segundo Herrera (2008), na criação de diversas tecnologias e produtos é utilizada grande quantidade de recursos não renováveis, que se transformam em resíduos e ocasionam grandes impactos ao meio ambiente. É importante a criação e fabricação de diferentes materiais para o uso na construção civil, que sejam de baixo impacto ambiental. Alternativas que visam não gerar resíduos tóxicos na fabricação, não causar algum tipo de impacto ambiental na sua vida útil, e ao final desse período possa ser reutilizado.

De acordo com Batista (2013), na fabricação de telhas começou a ser utilizado o reaproveitamento de diversos materiais, a telha ecológica foi desenvolvida na França em 1944, por necessidades criadas pela Segunda Guerra Mundial, mas foi chegar no Brasil em 1997. Algumas empresas começaram a criar ideias e tecnologias para sua fabricação, e hoje é possível encontrar produtos feitos a partir de matérias primas como papel, jornal, Tetra Pak®, com potencial de reciclagem muito grande, e que depositados na natureza durariam anos para se decompor gerando grandes impactos ambientais.

Existem diversos materiais utilizados na fabricação de telhas ecológicas, como o material elaborado a partir da reciclagem de caixas cartonadas Tetra Pak®, conforme a Figura 3. A tecnologia das telhas ecológicas existe há quase dez anos, utiliza como matéria-prima o alumínio e o plástico das embalagens descartadas, conhecidas pelo nome da empresa que as fabrica Tetra Pak®. Seu uso é uma fonte de matéria-prima de qualidade se tratando de reciclados, pois é possível aproveitar toda a embalagem. A reciclagem contribui ainda para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (ARAÚJO et al, 2008). O Brasil é um dos pioneiros no desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem das caixas cartonadas Tetra Pak®. O processo de produção da telha consiste no recebimento da matéria prima, posteriormente passa pela secagem, trituração e peneiração, para assim começar a

etapa de formação da manta, uma etapa manual para depósito do material no molde. Depois a etapa de prensagem, na qual o plástico derrete e adere aos outros materiais, assim exercendo a função de aglutinante. Imediatamente após a prensagem começa a etapa de conformação das placas e telhas. Na etapa de modulação e padronização ocorre a padronização das dimensões, e por fim, o controle de qualidade (HERRERA, 2008).

Outro tipo de matéria prima utilizada para fabricação de telhas ecológicas é o papel (Figura 4), a telha feita de fibra vegetal tem vida útil de aproximadamente 25 anos, por ser feita de papel é leve e fácil de manusear. Apesar do crescimento do produto, as telhas somam 1% do mercado, sendo ele dominado por modelos como os de alumínio, barro e fibrocimento. De acordo com Batista (2013), o Brasil se tornou um exportador das telhas de papel, além de atender o mercado interno, hoje em dia mais de cinquenta países comercializam a telha de fibra vegetal, entre eles Rússia, Turquia, América Latina e EUA. No processo de fabricação a matéria-prima é analisada, são feitos testes laboratoriais e é feito o processo de reciclagem. As fibras vegetais recebem a resina e os pigmentos que darão cor às telhas, e depois seguem para a etapa na qual é utilizado outro resíduo industrial: o betume. O betume passa por um controle de qualidade e é impregnado na telha, o betume dá as telhas impermeabilidade e resistência (BATISTA, 2013).



Figura 3: Telha Ecológica Tetra Pak®.
Fonte: Ecopex.



Figura 4: Telha Ecológica fibra vegetal.
Fonte: Onduline.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Lamberts et al (2014) a eficiência energética na arquitetura é o atributo que representa o potencial do edifício em obter conforto térmico, visual e acústico com baixo consumo de energia. Um edifício é mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições com menor consumo de energia.

Rosseti (2013) relata os efeitos da implementação da cobertura verde para o edifício, como o conforto térmico; redução do consumo de energia; escoamento da água da chuva; redução da poluição do ar; redução do ruído; preservação do habitat da fauna urbana. Rosseti (2013) ainda destaca que o telhado verde pode ser utilizado como estratégia de adequação do conforto térmico em diversas zonas bioclimáticas, a partir dos efeitos da inércia térmica, da densidade de área foliar da vegetação e do fluxo de calor latente pela evapotranspiração das plantas.

De acordo com Parizotto e Lamberts (2011), em Florianópolis, SC, a massa térmica foi a propriedade mais importante da cobertura verde do estudo, contribuindo para a absorção de calor, além de atrasar a transferência de calor do exterior para o interior, diminuindo a variação da temperatura diária. No estudo dos autores, a cobertura verde durante o período quente reduziu o ganho de calor do edifício analisado em 92% em relação ao telhado cerâmico e 97% em relação ao metálico, a perda de calor apresentou uma redução de 49% e 20%, respectivamente. No período frio, ocorreu uma redução do ganho de calor em relação a cobertura verde de 70% e 84% respectivamente e redução de perda de calor de 44% e 52%. Concluiu-se que a cobertura verde contribui para o conforto térmico e eficiência energética em climas temperados.

O telhado verde possui um potencial como estratégia para redução de consumo de energia elétrica. Com uma cobertura verde de 10cm de espessura, na cidade de Campinas por Pereira de Mello et al. (2010) a implantação do telhado verde resultou em uma economia de 40% no gasto de energia elétrica diária com ar condicionado, e em relação a custos o estudo mostra que o investimento inicial é alto, mas com a diminuição dos gastos com energia elétrica o gasto inicial com o telhado verde seria compensado em menos de cinco anos.

Em relação ao escoamento das águas pluviais, os mecanismos de evapotranspiração e de armazenamento das camadas do telhado verde podem contribuir para redução dos picos e da intensidade, reduzindo enchentes e

implantação de infraestrutura de drenagem nas cidades. Conforme o estudo feito por Santos et al. (2013), o telhado verde apresenta capacidade de retenção do volume total precipitado superior ao telhado de telha cerâmica, pode-se concluir no estudo que constituem importantes dispositivos no amortecimento do escoamento superficial. Savi (2012) indica que a relação do telhado verde com a filtragem do ar, a camada de vegetação retém as partículas de pó e fuligem presentes no ar, e filtram as substâncias nocivas ao meio ambiente.

2.1. Características da Cobertura Verde

Conforme ANCV – Associação Nacional de Coberturas Verdes (2019) a cobertura verde é a instalação de vegetação sobre uma estrutura, é executada em camadas que devem assegurar o bom desenvolvimento da vegetação, respeitando a integridade da estrutura construída. Existem três tipos de coberturas verdes, a cobertura verde **extensiva**, com camada de vegetação com baixa manutenção, suas plantas são suculentas, herbáceas perenes, entre outras, substrato com espessura máxima de 15 cm, e peso inferior a 120 kg/m²; Cobertura verde **intensiva**: necessita de uma manutenção elevada, como à de um jardim convencional, a vegetação pode ser composta por herbáceas, sub-arbustos, arbustos e árvores, possuem um substrato com espessura superior a 15cm, o peso é superior a 120 kg/m²; Cobertura verde **semi-intensiva**: requer manutenção moderada, as plantas são herbáceas, sub-arbustivas e arbustivas, possuem substrato com espessura de 10 cm a 25 cm.

Tabela 1 – Classificação de coberturas verdes e seus atributos.

ATRIBUTOS	EXTENSIVO	INTENSIVO
SUBSTRATO	Menos de 20cm	Mais de 20cm
ACESSIBILIDADE	Inacessível – telhado frágil, apenas manutenção	Acessível – usado para recreação
PESO ESTRUTURA	60 – 150 kg/m ²	Acima de 300 kg/m ²
DIVERSIDADE DE PLANTAS	Baixa – gramíneas, suculentas e herbáceas	Alta – arbustos e pequenas árvores
CONSTRUÇÃO	Simple	Complexa
IRRIGAÇÃO	Desnecessária ou periódica	Irrigação regular
MANUTENÇÃO	Simple	complicada
CUSTO	Baixo/médio	Alto

Fonte: Berardi (2014)

As coberturas verdes na literatura nacional também são chamadas de telhado verde, coberturas vegetadas, telhados jardins e coberturas vivas, são parcialmente ou totalmente cobertas por vegetação, que está fixada na camada do substrato, possuem camadas de drenagem, impermeabilização, barreira contra raízes e outras camadas necessárias para seu correto funcionamento (Figura 5). Possui na primeira camada um material impermeável, logo após uma barreira anti-raízes, acima desta, a camada de drenagem, em que se pode utilizar diferentes materiais com a finalidade de escoar o excesso de água. Em seguida, situa-se a camada de manta geotêxtil, fazendo a filtragem e evitando que sedimentos se acumulem entupindo a camada de drenagem. Logo acima entra o substrato, que é o meio de crescimento, e por fim a vegetação na superfície exterior (DIAS, 2016) (SAILOR, 2008).

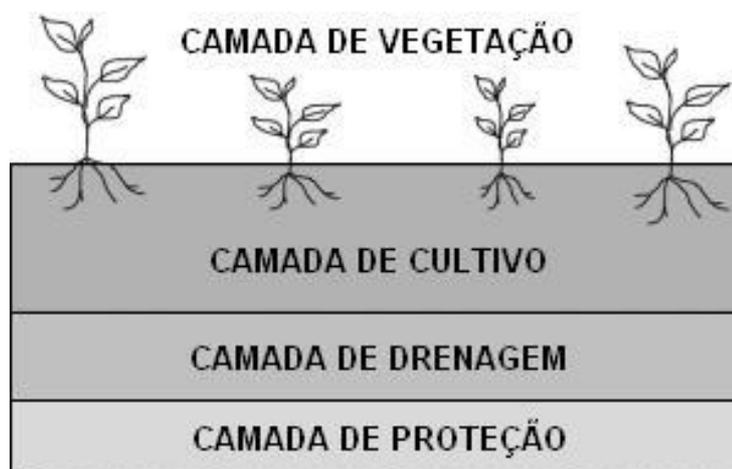


Figura 5: Características de construção de uma cobertura verde.
Fonte: Traduzido de Sailor (2008).

2.2. Estudos de Conforto Térmico por Simulação Computacional

No estudo de Dias (2016) foi analisado o desempenho de uma cobertura verde em comparação com uma cobertura de fibrocimento e outra de fibrocimento com superfície pintada de branco. O estudo foi realizado em três cidades brasileiras, Curitiba - PR, Brasília - DF e Belém - PA, por meio de simulação computacional no *software* EnergyPlus. A evapotranspiração das plantas foi analisada como o fator responsável pelo aumento da capacidade de evitar ganhos de calor na utilização das coberturas verdes. O desempenho térmico da cobertura verde foi superior ao das

demais coberturas nos três climas, em relação a cobertura de fibrocimento as reduções de cargas térmicas foram 83% em Belém (102,1 kWh/m² ano), 89% em Curitiba (78,3 kWh/m² ano) e 95% Brasília (72,4 kWh/m² ano), em relação a cobertura de fibrocimento pintada de branco, obteve uma redução em Belém 28% (5.6 kWh/m² ano), Curitiba 90% (86,5 kWh/m² ano) e Brasília 91% (40,3 kWh/m² ano).

O estudo de Krebs (2018) fez uma análise por meio de simulação computacional do conforto térmico e do microclima exterior de uma residência com cobertura verde em comparação com telha cerâmica na cidade de Porto Alegre – RS, foi analisado o grau hora de conforto do edifício durante o ano. O telhado verde teve um grande potencial no aumento do conforto térmico no interior do edifício estudado em Porto Alegre, em comparação com o telhado com telha cerâmica, o telhado verde com 15 cm de espessura de substrato obteve um aumento de 9,1% do tempo no conforto térmico durante um ano, de acordo com o Padrão ASHRAE Standard 55. De acordo com a análise o índice de área foliar e a profundidade do substrato geraram uma diferença significativa sobre o conforto térmico. O teste com maior densidade de plantas (índice de área foliar) foi mais benéfico para aumentar o conforto térmico no verão do que no inverno, a profundidade de substrato mais elevada com 50 cm era benéfico em ambas as estações, mas era mais importante no inverno, aumentando o isolamento térmico e reduzindo a perda de calor através do telhado. Para todo o ano, a melhor combinação das características das camadas foi a vegetação com o menor índice de área foliar e o substrato com 15 cm de espessura. Foi concluído que uma ampla variedade de vegetação pode ser especificada para o clima de Porto Alegre, um efeito positivo no conforto térmico pode ser obtido com as plantas de baixa ou de alta densidade.

No artigo de Fernandes et al. (2018) foi feito uma simulação computacional comparando o desempenho termoenergético de uma edificação com cobertura verde em comparação com coberturas de fibrocimento convencional com e sem isolamento e com a superfície com pintura branca. O consumo energético foi analisado com os modelos condicionados artificialmente, a análise foi feita a partir dos fluxos térmicos da edificação, considerando as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento e demais consumos da edificação. O estudo foi feito na cidade de Pelotas, RS em um edifício com salas comerciais, e a simulação computacional foi feita no software EnergyPlus. Foram configuradas 4 espessuras de substrato para a

cobertura verde para observar a diferença no consumo energético, a cobertura com 50 cm de altura obteve menor consumo devido ao seu maior isolamento e inércia térmica, a diferença de espessura do substrato e da camada vegetal foram o diferencial para o fluxo térmico menor da cobertura de maior altura. A cobertura verde com maior altura (50 cm) obteve o menor consumo energético 84,3 kWh/m².ano seguido da cobertura de fibrocimento com isolamento 88,2 kWh/m².ano, a cobertura de fibrocimento sem isolamento obteve o pior desempenho termoenergético, com consumo total de 103,5 kWh/m².ano. A diferença do tipo de cobertura utilizado na simulação teve grande influência nos resultados, as coberturas vegetais obtiveram melhores resultados em função da capacidade e resistência térmica elevadas e pela evapotranspiração e trocas térmicas das plantas.

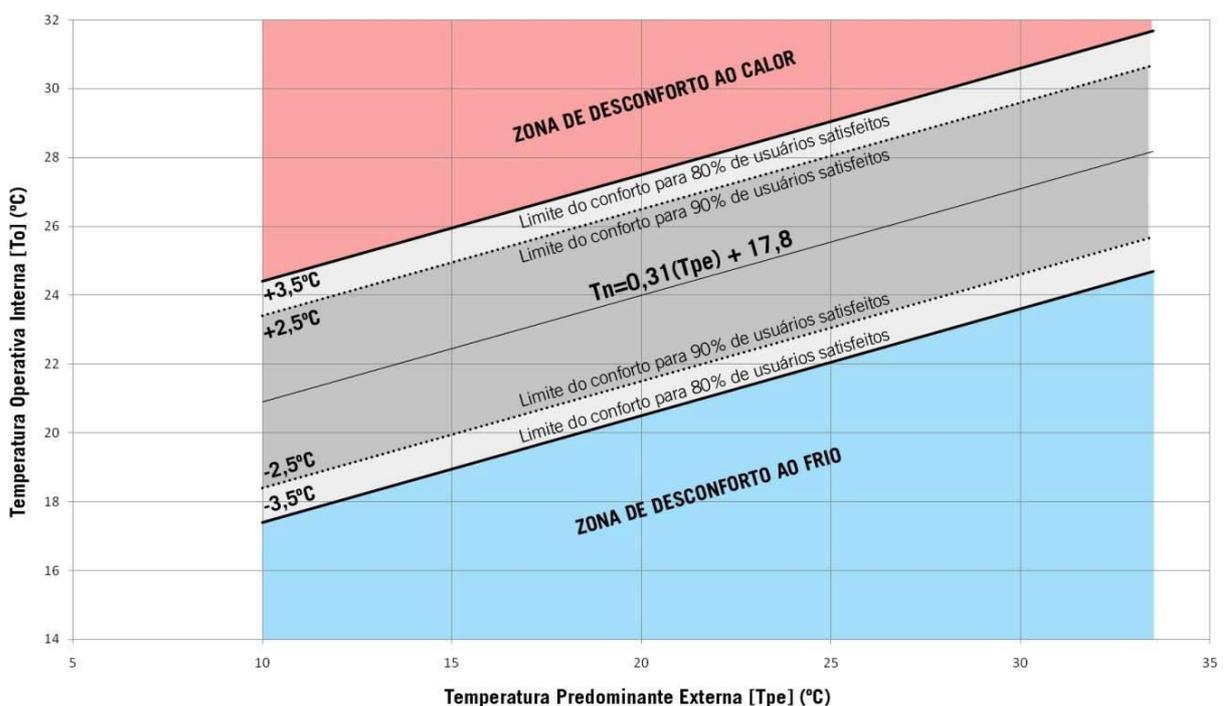
Ruivo et al. (2017) faz uma comparação de conforto térmico de coberturas verdes e coberturas de fibrocimento em duas situações, utilizando o método de conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 na situação do edifício naturalmente ventilado e uma análise do consumo energético com o condicionamento artificial do edifício. As simulações foram feitas no *software* Energy Plus, a cobertura verde com 50 cm de substrato apresentou melhor resultado com 81,92% de conforto térmico anual e consumo energético de 15.809,32 kWh/ano, e a cobertura de fibrocimento convencional obteve o menor tempo de conforto térmico com 53,22%, e maior gasto energético com 19.409,44 kWh/ano.

2.3. Parâmetros para análise do Conforto Térmico

No Brasil existem duas normas referentes ao desempenho térmico de edificações: a NBR 15.575 (2013) e a NBR 15.220 (2003). A norma NBR 15.575 (2013) – Parte 1: Requisitos gerais estabelece procedimentos para avaliação do desempenho térmico, o Procedimento Simplificado possui as características dos materiais considerando a zona bioclimática, como a transmitância térmica, absorvância solar, capacidade térmica, dentre outras. Possui também, a avaliação por Simulação Computacional, onde é considerado o edifício como um todo, com zonas térmicas, orientação solar, renovação de ar, dados climáticos, dentre outros. E por fim, o Procedimento de Medição, que é a verificação do atendimento dos requisitos da norma pela realização de medições no local.

Em relação ao conforto térmico existe a norma ASHRAE Standart 55 (2017) que utiliza o modelo do conforto adaptativo, ela é restrita para edifícios naturalmente ventilados, os parâmetros utilizados são temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar, e valores do ocupante como atividade e vestimenta. A edificação não deve possuir sistema de climatização, os ocupantes devem possuir atividades metabólicas entre 1,0 met e 1,3 met, as vestimentas são consideradas, onde os ocupantes poderão alterá-las de acordo com as variações térmicas, a temperatura exterior é maior que 10°C e menor que 33,5°C, e as janelas são operadas pelos ocupantes, regulando as condições térmicas no interior da edificação. O conforto adaptativo consiste na definição da temperatura operativa interna ou temperatura neutra (T_n), calculada pela temperatura externa, resultando na temperatura operativa interna real (T_o). Após a obtenção da temperatura neutra, é determinado os limites para garantir a aceitabilidade do conforto térmico para 80% e 90% dos ocupantes da edificação (Figura 6). É utilizado o limite de 80% de aceitabilidade em situações típicas, e 90% quando se quer atingir níveis superiores de conforto. As zonas de conforto são definidas pela relação das temperaturas operativas internas e temperaturas externas (ASHRAE, 2017) (SILVEIRA, 2014).

Figura 6: Temperatura operativa interna e temperatura externa.



Fonte: (ASHRAE, 2017) (SILVEIRA, 2015)

Dias (2016) faz uma análise do desempenho térmico de edifícios condicionados artificialmente com cobertura verde, para a investigação do potencial de redução do consumo energético, utilizando o software *EnergyPlus*. O método utilizado foi o sistema de cargas térmicas ideais (*Ideal Loads Air System*), com cargas fixas entre 22°C e 24°C, a partir da faixa de +- 1°C da temperatura de 23°C, para simular uma temperatura ambiente de relativo conforto térmico. Na simulação computacional foi utilizado o parâmetro “*Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate*” e “*Zone Ideal Loads Zone Total Heating Rate*”, que correspondem à carga térmica necessária para resfriar e aquecer o ambiente na faixa de temperatura 22 – 24°C.

No estudo de Krebs (2018) é avaliado o conforto térmico de uma residência com cobertura verde com o modelo de conforto adaptativo da ASHRAE Standart 55 (2017) com 80% de aceitabilidade, o caso de estudo são casas de baixa renda ventiladas naturalmente, o programa utilizado é o software *EnergyPlus*. As variáveis utilizadas para a simulação computacional foram, temperatura operativa, temperatura de bulbo seco do ar, temperatura radiante média, umidade do ar, velocidade e direção do vento.

Ruivo et al. (2017) analisa coberturas verdes e de fibrocimento pelo método do conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017). É configurado no software *Energy Plus* no ítem “*AirflowNetwork*” os dados de ventilação natural configurando a abertura de janelas quando a temperatura exterior for inferior à temperatura interna em até 5°C, e o quando a diferença entre a temperatura interior e exterior for mais de 5°C. No ítem “*Output Variable*” foi utilizado os dados de saída “*Zone Mean Air Temperature*” temperatura média do ar, “*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*” temperatura de bulbo seco e “*Zone Operative Temperature*” temperatura operativa.

Ainda no aspecto do conforto térmico, Silveira (2014) compara a norma NBR15.575 (2013) e a norma ASHRAE Standart 55 (2017), o autor faz uma análise a partir da norma NBR15.575 (2013) adequando as características da edificação com o método simplificado, após realiza a simulação computacional para verificar a temperatura interna no inverno e verão. E por último aplica o conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017), analisando a quantidade de graus-hora de desconforto ao frio e ao calor. As simulações foram feitas com 8760 horas do ano, utilizando o software *EnergyPlus*.

3 MÉTODO

O método do presente trabalho consiste em uma análise por meio de simulação computacional de conforto térmico conforme especificações da norma ASHRAE Standart 55 (2017), comparando graus-hora no interior de uma edificação com cobertura verde com telhas ecológicas e com telha cerâmica.

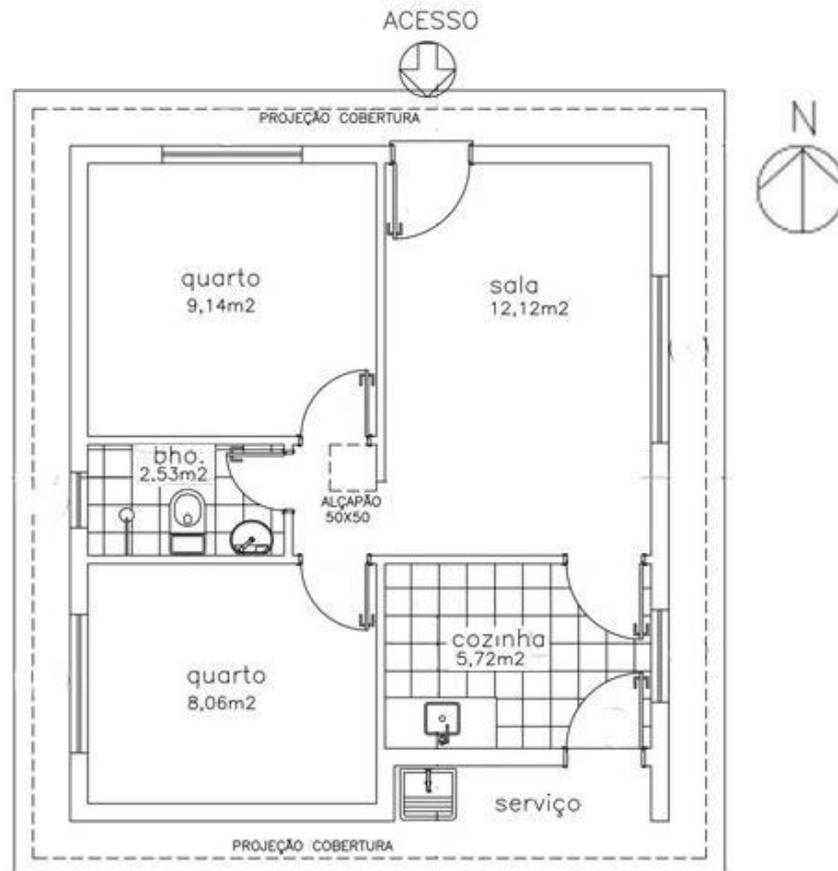
Foi realizada uma revisão bibliográfica para encontrar documentos referenciais e artigos sobre o tema coberturas verdes e coberturas ecológicas e suas respectivas características, definições sobre conforto térmico, sobre o método de simulação a partir do *software* EnergyPlus, critérios mínimos e exigências da ABNT NBR 15.575 (2013) e ABNT NBR 15.220 (2003).

A modelagem da residência foi feita com o *software* SketchUp 2017 utilizando o plugin Euclid. Foram modeladas 4 condições para análise do conforto térmico: telhado verde (TV), telha ecológica a partir de resíduos Tetra Pak® (TP), telha ecológica com resíduos de fibra vegetal (TF) e telha cerâmica (TC). Para a simulação de conforto térmico foi utilizado o *software* EnergyPlus. Posteriormente foi feita a coleta de dados e comparação pelo método do conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017).

3.1. Modelagem e Simulação Computacional

A edificação escolhida para o estudo foi o projeto padrão baixo residencial unifamiliar R1-B, especificado na norma ABNT NBR 12.721 (2006), utilizada como modelo no levantamento do custo unitário básico (CUB/m²) na Cartilha CUB – Sinduscon – MG. A edificação é térrea, possui dois dormitórios, sala de estar, banheiro, cozinha e área de serviço externa, possui uma área real de 58,64 m² e área equivalente de 51,94 m².

Figura 7 – Planta baixa residência unifamiliar.



Fonte: SINDUSCON-MG (2007). Adaptado pela autora.

A norma NBR 15.220 (2003) especifica diretrizes construtivas de acordo com a Zona Bioclimática, o caso de estudo está localizado na cidade de Porto Alegre no Rio Grande do Sul, está na Zona Bioclimática 3. Os tipos de vedações externas para a Zona Bioclimática 3 são: parede leve refletora e cobertura leve isolada. As estratégias de condicionamento térmico passivo são: no verão ventilação cruzada, inverno aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (inércia térmica).

Tabela 2 – Transmitância e Capacidade térmica das paredes e coberturas.

	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) W/M².K	CAPACIDADE TÉRMICA (CT) KJ / M².K
PAREDES	$U \leq 3,6$	≥ 130
COBERTURAS	$U \leq 2,0$	-

Fonte: NBR 15.220 (2003). Adaptado pela autora.

Para a análise do conforto térmico da edificação pelo método de simulação foi utilizado o *software* EnergyPlus, versão 8.7.0. A modelagem da edificação foi desenvolvida no *software* SketchUp 2017 utilizando o *plugin* Euclid.

O arquivo climático empregado neste trabalho foi o arquivo bioclimático da cidade de Porto Alegre, disponibilizado pelo Laboratório de Eficiência Energética (LABCEE). A residência foi modelada com 5 zonas térmicas. Para a configuração da agenda de ocupação foi utilizado como base a norma NBR 16.401 (2008) e RTQ-R, a densidade de potência instalada de iluminação, a taxa de metabolismo e a definição dos ganhos internos de calor por pessoa também foram utilizados valores com base na norma NBR 16.401 (2008) e RTQ-R.

Nos elementos da construção, foi utilizado nas paredes tijolo cerâmico 8 furos, com argamassa de 2 cm em ambos os lados, laje de entepiso de 10 cm de espessura, janelas e portas em madeira, os dados térmicos dos materiais foram especificados na Tabela 3 com base na norma NBR 15.220 (2003).

Tabela 3 – Especificações dos materiais.

	TIJOLO CERÂMICO	REBOCO BRANCO	PORTA MADEIRA	PISO CERÂMICO	CONCRETO LAJE
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	0,9	1,15	0,15	0,9	1,75
DENSIDADE MASSA APARENTE (kg/m³)	1600	2000	450	1300	2400
CALOR ESPECÍFICO (J/kg.K)	920	1000	1340	920	1000

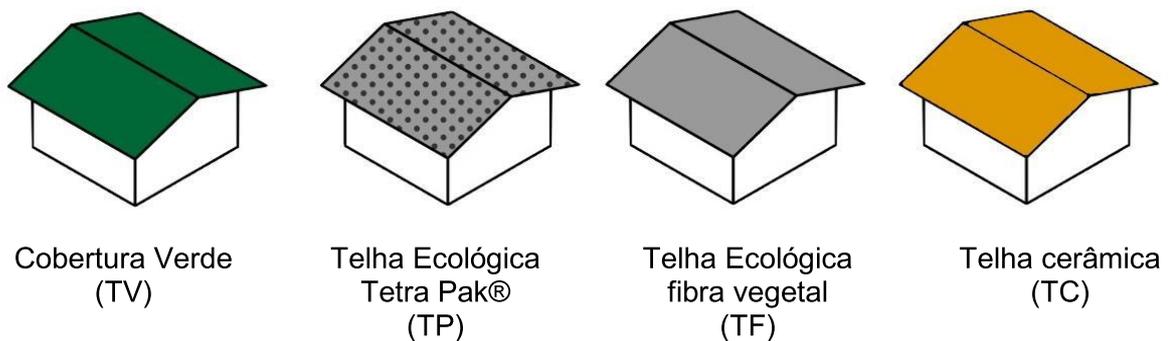
Fonte: NBR 15.220 (2003)

A temperatura do solo foi configurada através do programa Slab, vinculado ao *software* EnergyPlus. A renovação do ar foi definida em 1 renovação do ar por hora de acordo com NBR 15.575 (2013), foi configurada a abertura de janelas quando a temperatura da zona for maior ou igual a temperatura externa e a temperatura da zona for maior ou igual a temperatura de *setpoint*. Para os dados de saída no item “*Output Variable*” foi utilizada a Temperatura de bulbo seco “Outdoor Drybuld”, a Temperatura operativa “Zone Operative Temperature” e a Temperatura média do ar

“Zone Mean Air Temperature”, para a análise do conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017).

Foram configurados 4 modelos com coberturas distintas para a comparação, cobertura com telhado verde (TV), telha ecológica a partir de resíduos Tetra Pak® (TP), telha ecológica com resíduos de fibra vegetal (TF) e telha cerâmica (TC), conforme Figura 9.

Figura 9– Quatro modelos para simulação.



Fonte: Autora.

O modelo TV com a configuração de cobertura verde foi configurado no objeto *Material:RoofVegetation* que permite diversas opções de design de coberturas vegetadas, em relação a vegetação possui as propriedades térmicas, a resistência estomática mínima, altura e índice de área de foliar, e para o substrato possui a espessura, propriedades térmicas, rugosidade, entre outras (Tabela 4). Os valores utilizados tiveram como base os manuais do EnergyPlus, a dissertação de Dias (2016) e a tese de Krebs (2018).

Os modelos com telhas ecológicas Tetra Pak® (TP), fibra vegetal (TF) e telha cerâmica (TC), foram configuradas com laje maciça de concreto armado de 10 cm de espessura, camada de ar, forro de gesso e respectivos materiais das telhas, as características térmicas foram obtidas na norma NBR 15.220 (2003), para os dados da telha Tetra Pak® foi utilizado o item “Plásticos” por ser a maioria em sua constituição (Tabela 5).

Tabela 4 – Especificações dos materiais.

VEGETAÇÃO	
ALTURA DAS PLANTAS (m)	0,2
ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	1,5
REFLETÂNCIA DAS FOLHAS	0,25
EMISSIVIDADE DAS FOLHAS	0,95
RESISTÊNCIA ESTOMÁTICA MÍNIMA (s/m)	180
SUBSTRATO	
SUGOSIDADE	<i>MediumRough</i>
ESPESSURA (m)	0,15
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	0,35
DENSIDADE DE MASSA APARENTE (kg/m³)	1100
CALOR ESPECÍFICO (J/kg.K)	1200
ABSORTÂNCIA TÉRMICA	0,9
ABSORTÂNCIA SOLAR	0,72
ABSORTÂNCIA VISÍVEL	0,75
CONTEÚDO VOLUMÉTRICO SATURADO DE UMIDADE (m³/m³)	0,3
CONTEÚDO VOLUMÉTRICO RESIDUAL DE UMIDADE (m³/m³)	0,01
CONTEÚDO VOLUMÉTRICO INICIAL DE UMIDADE (m³/m³)	0,1
MÉTODO DE CÁLCULO DA DIFUSÃO DA UMIDADE NO SUBSTRATO	<i>Advanced</i>

Fonte: DIAS (2016) adaptado pela autora.

Tabela 5 – Especificações dos materiais.

	TELHA TETRA PAK (TP)	TELHA FIBRA VEGETAL (TF)	TELHA CERÂMICA (TC)
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (W/m.K)	0,40	0,12	0,9
DENSIDADE MASSA APARENTE (kg/m³)	900	338	1600
CALOR ESPECÍFICO (J/kg.K)	550	300	920

Fonte: NBR 15.220 (2003)

3.2. Coleta de dados e Conforto Adaptativo

A fase de coleta de dados foi concentrada em analisar a influência dos sistemas de cobertura verde e telhas ecológicas no conforto térmico no interior do edifício. Em simulações feitas em 8760 horas do ano, os dados foram coletados a partir dos dados de saída no item “*Output Variable*”, as variáveis “*Site Outdoor Air Drybulb Temperature*” temperatura de bulbo seco e “*Zone Operative Temperature*” temperatura operativa, que referem-se a temperatura do bulbo seco do ar externo calculada na altura acima do solo, e a média da temperatura média do ar da zona e da temperatura radiante média da zona.

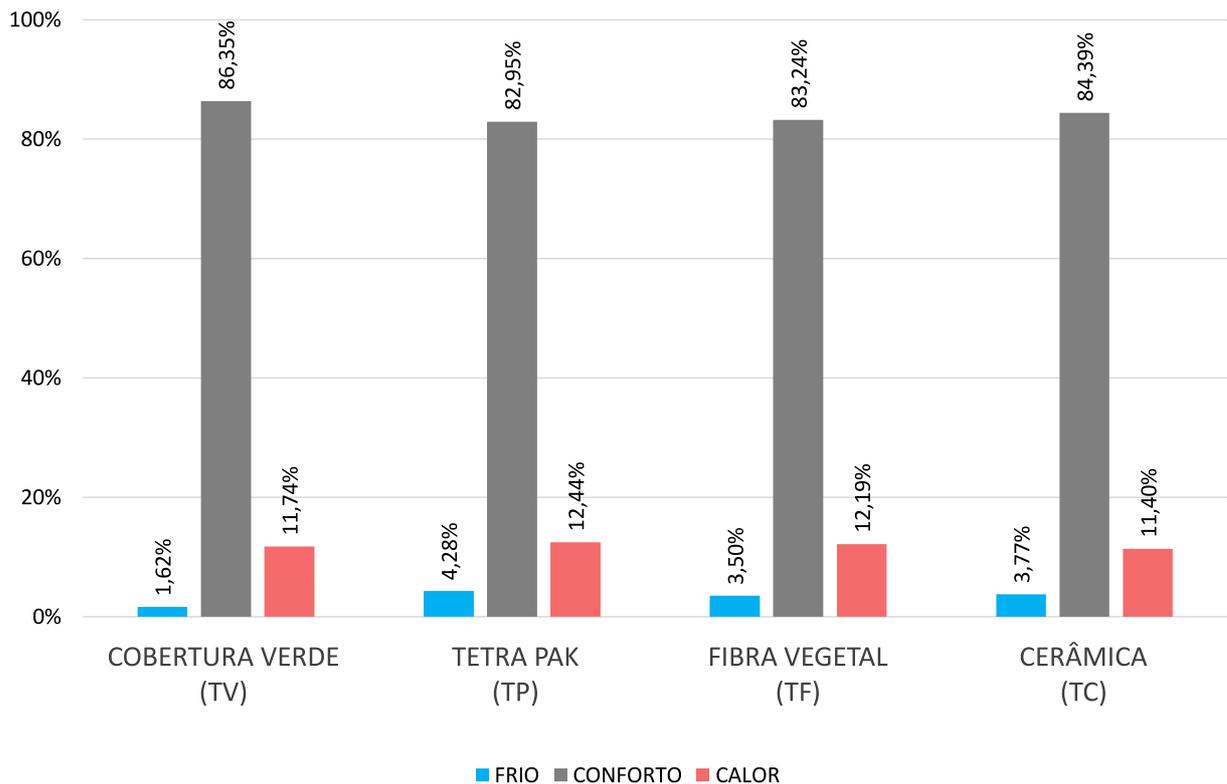
O método de análise foi feito a partir do conforto adaptativo da norma ASHRAE Standart 55 (2017), foi utilizado o limite de 80% de aceitabilidade para este estudo, onde a temperatura pode variar de +3,5 °C e -3,5 °C da temperatura neutra. Essa análise é feita a partir da relação entre as temperaturas operativas internas e temperaturas externas, chegando aos resultados de graus hora de conforto e desconforto por frio e calor.

A simulação feita com a Cobertura Verde (TV) obteve os resultados de nível de conforto de 86,35%, o desconforto por frio foi de 1,62% e desconforto por calor de 11,74%. A cobertura com telha Tetra Pak® (TP) obteve 82,95% de conforto, desconforto pelo frio foi de 4,28% e desconforto por calor de 12,44%. Na simulação com a telha de fibra vegetal (TF) os resultados foram, 83,24% de conforto do edifício, 3,50% de desconforto por frio e 12,19% de desconforto por calor. A Telha cerâmica (TC) obteve os resultados de 84,39% de conforto, 3,77% de desconforto por frio e 11,40% de desconforto por calor. Os valores podem ser vistos na figura 10.

Na coleta de dados observou-se que o nível de conforto da cobertura verde foi de 86,35% sendo a cobertura que proporciona um maior conforto térmico para os ocupantes da edificação, seguido da cobertura com telha cerâmica que apresentou um nível de conforto de 84,39% sendo a segunda cobertura com maior nível de conforto térmico. As telhas ecológicas ficaram por último neste estudo, entre elas a de fibra vegetal teve um nível de conforto de 83,24% vindo à frente da Tetra Pak® com 82,95%, sendo a cobertura com o nível mais baixo de conforto térmico. Em relação ao nível de desconforto ao frio a cobertura verde teve o menor nível 1,62% e a telha Tetra Pak® obteve o maior nível 4,28%, entre as telhas de fibra vegetal e telha cerâmica, esta última obteve um resultado maior de desconforto ao frio 3,77%,

em compensação a telha cerâmica teve um nível de desconforto ao calor menor que a telha de fibra vegetal e de Tetra Pak®, a telha cerâmica teve um resultado de 11,40% de desconforto por calor, a fibra vegetal com 12,19% e Tetra Pak® com 12,44% tendo o maior resultado entre os desconfortos por frio e calor.

Figura 10 – Graus-hora de conforto e desconforto.



Fonte: Autora.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da coleta de dados, observou-se que a cobertura verde obteve os melhores resultados de conforto térmico, esses resultados também são observados nos estudos referenciais, nos quais os edifícios com cobertura verde tiveram os melhores níveis de conforto térmico frente as coberturas convencionais analisadas, dentre elas telhas de fibrocimento com e sem isolamento térmico, e no caso deste estudo a telha cerâmica e as telhas ecológicas.

A camada do substrato da cobertura verde contribuiu para os resultados de elevado conforto térmico, oferecendo o isolamento térmico e a inércia térmica,

enquanto a densidade das plantas (índice de área foliar) está relacionado com o ganho de calor solar da cobertura.

No âmbito deste estudo a cobertura verde veio a frente das coberturas ecológicas analisadas, a telha ecológica Tetra Pak® e de fibra vegetal e também a cobertura convencional de telha cerâmica.

Este estudo mostrou a influência de coberturas sustentáveis no conforto térmico no interior de uma residência unifamiliar na zona bioclimática 3, levando em consideração os aspectos construtivos e ao clima do caso estudado, pode-se concluir que a cobertura verde apresentou melhores resultados de conforto térmico no interior da edificação.

REFERÊNCIAS

ABNT – 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, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos- Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721:** Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1:** Instalação de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ARAÚJO, D.C.; MORAIS, C.R.S.; ALTIDES, M.E.D. **Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares.** Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.3, n. 2, p. 50-56, Campina Grande, 2008.

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Standart 55:** Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2017.

BERARDI, U.; GHAFARIANHOSEINI, AH.; GHAFARIANHOSEINI, A. **State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs**. Applied Energy, v. 115, p.411-428, 2014.

BLANCO, Karoline Cunha. **Coberturas verdes: aplicação como estratégia de mitigação de impacto ambiental em Brasília**. Dissertação de mestrado. Brasília, 2012.

BATISTA, Jéssica Fernandes. **Estudo do papel como material na construção civil – Revisão de literatura**. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, RN. 2013.

BARBOSA, Normando P. **Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais**. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. Universidade Federal da Paraíba, UFPB. 2005.

CBCS, Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. **Sobre CBCS. Missão, Visão, Origem**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/website/institucional/show.asp?ppgCode=BCCF20BC-8628-4D3D-83ED-FBA37CFA560D>>. Acesso em: 12 de setembro de 2019.

DIAS, Adriano Ethur. **O desempenho térmico de uma cobertura verde em simulações computacionais em três cidades brasileiras**. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 2016.

FERNANDES, Tatiane Ballerini; RUIVO, Roseana Bonotto; CUNHA, Eduardo Gralada; KREBS, Lisandra Fachinello. **Desempenho termoenergético de coberturas vegetadas em clima subtropical**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 9, n. 4, p. 262-275, dez. 2018.

HERRERA, Q. J. A. **Aplicação da climatologia dinâmica ao estudo do comportamento térmico das edificações, caso específico: telhas produzidas a partir da reciclagem de caixas acartonadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Regulamento Técnico da Qualidade Para o Nível de Eficiência Energética Edificações Residenciais**. RTQ-R. Portaria n.18, de 16 de Janeiro de 2012. INMETRO, 2012.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW Editores. 2014.

LAAR, M. et al. **Estudo de aplicação de plantas em telhados vivos extensivos em cidades de clima tropical**. In. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 6. Anais...São Pedro, São Paulo, 2001.

MACHADO, André Fogolin; et al. **Telhado verde: uma alternativa sustentável para o século XXI**. Syn. scy. UTFPR, Pato Branco, v. 12, n. 1, p. 176–182. 2017.

FERREIRA, César Argentieri; MORUZZI, Rodrigo Braga. **Considerações sobre a aplicação do telhado verde para captação de água de chuva em sistemas de aproveitamento para fins não potáveis.** Encontro nacional, v. 4, 2007.

KREBS, Lisandra Fachinello. **Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil: Effect on indoor thermal comfort in residential buildings.** (1st ed.). Lund: Department of Architecture and Built Environment, Lund University. Lund, 2018.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. **Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil.** Energy & Buildings, [s.l.], v. 43, n. 7, p. 1712–1722, 2011.

PEREIRA DE MELLO, G. B.; COSTA, M. D. P.; ALBERTI, M. S.; FREITAS FILHO, R. D. G. **Estudo da implantação de um telhado verde na Faculdade de Engenharia Mecânica.** Revista Ciências do Ambiente On-Line, v. 6, n. 2, 2010.

ROSSETI, K. A. C.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.. **Abordagens sistêmicas dos efeitos da implantação dos telhados vegetados.** Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium, v. 4, p. 55-77, 2013^a.

RUIVO, Roseana Bonotto; FERNANDES, Tatiane Ballerini; KREBS, Lisandra Fachinello; CUNHA, Eduardo Grala da. **Simulação computacional e comparação entre diferentes tipologias de coberturas vegetadas de um núcleo de escritórios localizado em Pelotas-RS.** In: XIV ENCAC X ELACAC, 2017, Camboriú. Habitat Humano: em busca de conforto ambiental, eficiência energética e sustentabilidade no século XXI, 2017. p. 1435-1444.

SANTOS, Pedro Tyaquiçã da Silva et al. **Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial.** Ambient. constr. [online]. 2013, vol.13, n.1, pp.161-174. ISSN 1678-8621.

SAVI, Adriane Cordoni. **Telhados Verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura.** Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SILVEIRA, Francisco Massucci. **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente : NBR 15.575 e ASHRAE.** Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.

SINDUSCON-MG, SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Custo Unitário Básico (CUB/m²): principais aspectos.** Belo Horizonte, 2007. 112p.