



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

RHAYCK JORDAN MAGALHÃES

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE TELHAS ECOLÓGICAS E
TELHAS DE FIBROCIMENTO**

PUBLICAÇÃO N°: 31

**GOIANÉSIA / GO
2018**



RHAYCK JORDAN MAGALHÃES

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE TELHAS ECOLÓGICAS E
TELHAS DE FIBROCIMENTO**

PUBLICAÇÃO N°: 31

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO
AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG**

ORIENTADOR: PROF. ME. EDUARDO MARTINS TOLEDO

**GOIANÉSIA / GO
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

MAGALHÃES, RHAYCK JORDAN.

Desempenho térmico de telhas: um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento. xi, 30P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Telhas	2. Desempenho térmico
3. Conforto térmico	4. Células teste
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MAGALHÃES, R. J. Desempenho térmico de telhas: um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento. Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 53p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: RHAYCK JORDAN MAGALHÃES

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Desempenho térmico de telhas: um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Rhayck Jordan Magalhães

Alameda Mariana, Residencial Jardim Mariana, Bloco 21 Apto 303

76383-180 - Goianésia/GO - Brasil

RHAYCK JORDAN MAGALHÃES

**DESEMPENHO TÉRMICO DE TELHAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE TELHAS ECOLÓGICAS E
TELHAS DE FIBROCIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Especialista (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**JEANISSON CÉSAR MARIANO SILVA, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 08 DE DEZEMBRO DE 2018.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha família e meus colegas de classe pelo apoio durante todo o curso, sem eles não seria possível à conclusão. Agradeço também ao orientador do trabalho Prof. Me Eduardo Martins Toledo pelo suporte durante o desenvolvimento da pesquisa e ao Prof. Ivandro José de Freitas Rocha pela contribuição na construção do sistema de aquisição de dados. Agradeço ainda a Faculdade Evangélica de Goianésia pelo o incentivo financeiro durante a Iniciação Científica e também para a construção das células testes. Agradeço ainda, minha colega Pollyana Francisca de Oliveira, pelo companheirismo durante a iniciação científica.

RESUMO

O conceito de sustentabilidade tem sido bastante discutido no mundo devido à escassez de recursos naturais que se aproxima. As novas tecnologias possibilitam que os materiais possam ser cada vez mais reutilizados, buscando minimizar os impactos causados ao meio ambiente. A construção civil como sendo uma área que consome bastantes recursos naturais também tem incorporado produtos reciclados nas obras, como por exemplo, as telhas ecológicas fabricadas a partir de embalagens acartonadas. O objetivo deste trabalho é avaliar de forma comparativa o desempenho térmico de tipos de telhas: telha ecológica (fabricada a partir de resíduo de embalagem Tetra Pak) e telha de fibrocimento, utilizando o método de medição *in-loco*. Para isso, foram construídas duas células testes iguais, variando apenas a cobertura (telha ecológica e fibrocimento), no setor de experimentos da Faculdade Evangélica de Goianésia. A partir do sensor de temperatura DHT22, conectados a um sistema de aquisição de dados Arduino, obtivemos os valores das temperaturas e umidades relativa do ar, medidos no ponto médio de cada célula teste. Através de gráficos da temperatura em função do tempo, analisamos o comportamento das telhas como isolante térmico durante as 24 horas, entre os dias 20/02/2017 e 12/03/2017. Concluimos que a telha ecológica apresenta melhor desempenho térmico durante a maior parte do dia. Somente entre as 16 horas e 17 horas que ela apresentou menor desempenho que a telha de fibrocimento, não contribuindo para o conforto térmico dos usuários.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Conforto térmico. Célula teste. Sensores. Temperatura.

ABSTRACT

The concept for sustainability has been discussed a lot in the world due to the imminent scarcity of natural resources. New technologies allow that materials be reused, seeking to low the impacts in environment. The civil construction consumes a lot of natural resources and it has been using recycled materials in recent works, such as recycled roof tiles made from cardboard packaging. The recycled roof tiles manufacturers promise to reduce up until 20% of internal temperatures, although there are not scientific studies that prove it to be true. The goal of this paper is to evaluate and compare the thermal performance of two types of tiles: ecologic rooftops (made from Tetra Pak packaging) and asbestos roof tiles using the method of in-loco measuring. In order to do so two similar cells, with different rooftop materials (asbestos or ecologic) were built in the experiment sector of the Faculdade Evangélica de Goianésia. The testing cells equipped with thermal and DHT22 humidity sensors connected by Arduino data acquisition system, obtained temperature and humidity values, measured in each cell's midpoints. Through temperatures graphics in function of time, we analysed the thermic isolation behavior from the tiles during 24 hours, between February 20th 2017 and March 3rd 2017. We concluded that ecologic rooftops shows better thermal performance during most part of the day. Only between 4pm and 5pm it shown a lower thermal performance in comparison to the asbestos tiles, which doesn't make much difference in the users thermic comfort;

Keywords: Sustainability. Thermal comfort. Test cells. Sensors. Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Conforto térmico Humano.....	8
Figura 2. Representação esquemática das trocas térmicas em telhados.....	10
Figura 3. Representação da variação no ângulo de incidência solar	10
Figura 4. Zoneamento bioclimático brasileiro	14
Figura 5. Telha Ecológica Tetra Pak.....	16
Figura 6. Telha de Fibrocimento	17
Figura 7. Vista superior da área de construção das células teste	18
Figura 8. Planta baixa da célula teste	19
Figura 9. Detalhamento transversal da célula teste.	19
Figura 10. Detalhamento longitudinal da célula teste.	20
Figura 11. Célula teste com telha ecológica.....	21
Figura 12. Sistema de aquisição de dados.....	22
Figura 13. Serial monitor da IDE do Arduino.....	22
Figura 14. Sistema de Validação Científica dos dados..	24
Figura 15. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e da temperatura ambiente em função do tempo.....	25
Figura 16. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 00 hrs às 06 hs.	26
Figura 17. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 06 hrs às 12 hs.	26
Figura 18. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 12 hrs às 18 hs.	27
Figura 19. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 12 hrs às 18 hs.	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas médias internas as células testes	33
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
COBRACOM	Comitê Brasileiro de Construção Civil
DF	Distrito Federal
FACEG	Faculdade Evangélica de Goianésia
GO	Goiás
IC	Iniciação Científica
IDE	Integrated Development Environment
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ONU	Organização das Nações Unidas
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
PMV	Porcentagem de Pessoas Satisfeitas
PPD	Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas
RTC	Real Time Clock
SC	Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

e	Espessura da camada de material
λ	Condutividade térmica do material
An	Área da seção
Rn	Resistência térmica da superfície
Rt	Resistência térmica de superfície a superfície
Rse	Resistência superficial externa
Rsi	Resistência Superficial interna
U	Transmitância térmica
C	Calor específico do material
ρ	Densidade de massa aparente do material
FSo	Fator Solar
α	Absortância á radiação solar
m	Metros
mm	Milímetros
cm	Centímetros
m^2	Metro quadrado
$\%$	Por cento
$^{\circ}C$	Graus Celsius (unidade de temperatura)
K	Kelvin (unidade de temperatura)
\pm	Mais ou menos
Mpa	Mega pascal (unidade de força por área)
Σ	Somatório
W/m^2	Watts por metro quadrado (unidade de densidade de potência)

SUMÁRIO

RESUMO	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 CLIMA E TEMPO.....	5
2.2 DESEMPENHO TÉRMICO.....	5
2.3 CONFORTO TÉRMICO	7
2.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	8
2.5 MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS EM TELHADOS.....	9
2.6 NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA.....	11
2.6.1. NBR 15.220/2003	11
2.6.2. NBR 15.575/2013	14
2.7 AS TELHAS	16
2.7.1 Telha “Ecológica” Tetra Pak.....	16
2.7.2 Telhas de Fibrocimento.....	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 CÉLULAS TESTES.....	18
3.1.1 PROJETO.....	18
3.1.2 EXECUÇÃO.....	20
3.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	21
3.2.1 Variáveis Medidas.....	23
3.2.2 Validação dos Dados.....	23
3.2.3 Coleta de Dados Experimentais	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
5. CONCLUSÕES.....	30
APÊNDICE A	34

1 INTRODUÇÃO

Durante o processo de construção, vários fatores devem ser observados para que a edificação forneça o máximo de conforto para o usuário. Avaliar o desempenho térmico dos materiais usados na obra pode reduzir expressivamente o gasto energético da edificação. A cobertura é o principal responsável pela transmissão de calor para o interior da habitação, pois nela ocorrem diversas trocas térmicas, podendo ser responsável por até 72,3 % do calor absorvido pela edificação (PERALTA, 2006).

A energia térmica que chega ao interior da edificação é proveniente, em grande parte, da radiação solar que incide diretamente no telhado. O calor transmitido é absorvido através de três processos: condução, convecção e radiação. A radiação se dá quando a energia é transmitida do espaço por meio de ondas eletromagnéticas. Já a convecção acontece quando há trocas de calor por meio do fluxo das moléculas (líquidas ou gás) de um meio para o outro. Subsequentemente ocorrem trocas de calor por condução. A condução é a troca de calor que acontece pelo contato direto entre os materiais sólidos (HALLIDAY, 2012).

Além do conforto térmico, outros fatores devem ser observados na edificação de obras. Entre elas, o equilíbrio harmônico do desenvolvimento humano com o meio ambiente. O engenheiro civil, graduado e orientado pelo Código de Ética profissional da Engenharia, da Agronomia, da Geologia, da Geografia e da Meteorologia, elaborado pelo CONFEA/CREA, deve levar em consideração todos os aspectos relacionados à viabilidade da construção. Os contextos sociais, econômicos e políticos também devem ser levados em consideração para que a edificação possa explorar o máximo do seu potencial (CONFEA/CREA, 2014).

A limitação dos recursos naturais disponíveis para a construção civil começou a ser debatida em 1972 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, também conhecido como Conferência de Estocolmo. No entanto essa foi à primeira assembleia mundial entre chefes de Estado, encabeçada pela Organização das Nações Unidas (ONU), para discutir a respeito da degradação do meio ambiente. As discussões da Conferência de Estocolmo resultaram na elaboração da Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano adotado em 6 de junho de 1972 (MEADOWS et al., 1972).

Neste mesmo ano foi publicado o livro *The Limits to Growth (Limites do Crescimento)*. Os autores abordam a limitação dos recursos naturais devido ao crescimento exagerado da população, industrialização e poluição. As pesquisas foram feitas por estudiosos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, contratados pelo Clube Roma (The Club of Rome) para desenvolver modelos matemáticos computacionais a respeito de como o crescimento populacional e a exploração de recursos naturais afetariam o futuro do planeta (MEADOWS et al., 1972).

Quatro décadas após a publicação do livro, observamos que a problemática escassez de recursos naturais tratada no livro já faz parte do nosso cotidiano (OLIVEIRA, 2012). Neste contexto surge o conceito de Desenvolvimento Sustentável “obtenção do bem-estar humano em longo prazo por meio da gestão do sistema ambiental humano” (FEIL et al., 2017).

O setor de construção civil consome cerca de 70 % dos recursos naturais. Este índice mostra os benefícios que o setor poderia obter dentro do cenário de desenvolvimento sustentável. Uma ação bastante comum para minimizar os impactos causados pela exploração dos recursos naturais é a reciclagem de resíduos. A utilização de materiais reciclados na construção civil vem se tornando cada vez mais comum (ÂNGULO et al., 2017).

Além da preocupação com o meio ambiente, outros fatores devem ser observados na hora de se projetar uma edificação, entre elas: o conforto térmico. Uma edificação é ideal, em termos de temperatura interna, quando ela apresenta temperatura amena e inferior à externa durante os períodos mais quentes do dia. Nos períodos mais frios ela deve apresentar temperatura superior à externa até que o ambiente alcance uma temperatura agradável. Para isso, é preciso saber escolher o tipo de material que será usado na construção, em especial o material da cobertura, pois ela é responsável pela maior parte da troca de calor com o interior da edificação (PERALTA, 2006).

Atualmente diversos trabalhos científicos têm sido desenvolvidos com o objetivo de melhorar o desempenho térmico dos materiais da edificação como um todo. Pesquisas envolvendo monitoramento em células teste, simulações computacionais, análise de propriedades térmicas relevantes, apenas para começar a exemplificar (LAMBERTS et al., 2000).

Na maioria destes estudos, percebe-se uma compreensão da necessidade da elaboração de projetos mais adequados às condições climáticas locais e, sobretudo utilizando-se de materiais que apresentam melhor desempenho térmico (PERALTA, 2006).

Existem diversos estudos que buscam avaliar o desempenho térmico de elementos da edificação. A fim de padronizar e normatizar esses estudos, foram elaboradas duas normas principais referentes a esse tópico. As normas brasileiras 15220/2003 e 15575/2013 tratam sobre parâmetros técnicos que devem ser seguidos durante a análise de desempenho, além de diferenciar condições ambientais para cada zona bioclimáticas. Tais normas serão descritas no tópico 2.6 (ABNT, 2013).

As telhas ecológicas surgiram recentemente como alternativas às telhas convencionais, cujas matérias-primas, em geral, provêm de extração mineral, tão prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. Essas telhas ecológicas vêm ganhando espaço no mercado brasileiro principalmente porque trazem, no nome, um apelo ambiental (OLIVEIRA et al., 2016). As telhas “ecológicas” são construídas com caixas acartonadas feitas de plástico, papel e alumínio, conhecidas mundialmente pelo nome da empresa que as fabricam, *Tetra Pak*. Esse tipo de telha proporciona a redução de consumo de energia com resfriamentos alternativos (TETRA PAK, 2002).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar o desempenho térmico de dois tipos de telhas: a telha ecológica e a telha de fibrocimento, utilizando o método de medição in loco através do modelo de célula teste.

Os objetivos específicos são:

- Obter dados de monitoramento térmico de duas células testes;
- Comparar os dados obtidos de cada célula teste;
- Analisar o desempenho térmico das telhas em conformidade com as normas brasileiras;

1.3 JUSTIFICATIVA

Impulsionados pelo desenvolvimento sustentável e tecnológico, surgem produtos com melhores resultados em termos de eficiência energética. Ou seja, produtos que executam as mesmas funções que seus similares, porém consumindo menos energia (CURSINO et al., 2015).

Esta investigação auxiliará os profissionais de engenharia civil a avaliarem o desempenho térmico dos componentes da obra, conforme as normas brasileiras de desempenho de edificações, levando em consideração fatores de importância social, ambiental e econômica.

Os materiais fabricados a partir de matéria prima reciclada reduzem parte dos impactos causados ao meio ambiente. A utilização destes materiais compõem ações de desenvolvimento sustentável, termo que vem sendo discutido nos diversos setores da economia mundial como uma possível solução para a escassez de matérias prima não renováveis (ÂNGULO et al., 2017).

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. No capítulo 1 foi apresentada a introdução. No capítulo 2 apresentam a revisão bibliográfica. No capítulo 3, descrevem as etapas e os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. No capítulo 4, discutem os resultados obtidos na comparação do desempenho térmico dos materiais pesquisados e no capítulo 5 as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLIMA E TEMPO

O clima e tempo são conceitos importantes para a compreensão do desempenho térmico (VESENTINE, 1996). O clima é determinado através do estudo estatístico dos dados meteorológicos de uma região sobre um período suficientemente longo. Já o tempo é expresso por meio de dados (temperatura, chuva, vento, umidade, nevoeiro, nebulosidade, etc.) obtidos em determinado momento, em um local específico e apresenta constantes variações (HERRERA, 2008).

Como o Brasil é um país que recebe bastante insolação durante grande parte do ano, a cobertura em especial deve ser projetada de forma a atender a demanda de conforto térmico do edifício após a obra (RODRIGUES et al., 2012).

Os estudos foram realizados em Goianésia - GO, localizada na região centro-oeste do Brasil, onde o clima é tropical. A região apresenta duas estações facilmente observáveis: chuva e seca. A estação chuvosa é abafada e de céu encoberto, já a estação seca é de céu quase sem nuvens. O clima é quente praticamente durante todo o ano, apresentando variações máximas e mínimas de 34°C a 19°C. Raramente o clima local ultrapassa esses valores (SPARK, 2016).

De acordo com a NBR 15.220/2003 o zoneamento bioclimático brasileiro está dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Classificadas de acordo com as seguintes variáveis climáticas: temperaturas médias máximas e mínimas e umidade relativa do ar de cada cidade. (ABNT, 2003).

2.2 DESEMPENHO TÉRMICO

Existem diversas pesquisas buscando qualificar o desempenho térmico e energético de edificações. De acordo com Barbosa et al. (1997) o consumo de energia elétrica para iluminação, ar condicionado e aquecimento de água depende diretamente do projeto arquitetônico.

Janda e Busch em 1992 no âmbito de suas pesquisas contemplou que alguns países, em especial, os Estados Unidos, Canadá e França já haviam instituído seus regulamentos de desempenho térmico e energético. Todavia outros países com significativa expressão no consumo de energia no mundo ainda não haviam implantado seus regulamentos (NETO, 2003).

Os debates a respeito da normatização brasileira iniciaram-se em 1990 com o I Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, realizado em Gramado, no Rio Grande do Sul. Em 1991 foi realizado o I Encontro Nacional de Normalização Ligada ao Uso Racional de Energia e ao Conforto Ambiental na cidade de Florianópolis- SC, onde foram apresentados diversos trabalhos tratando sobre a temática conforto térmico, avaliação de desempenho térmico, tratamento de dados climáticos e consumo de energia (BARBOSA, 1997).

Através da publicação dos anais do segundo encontro em Florianópolis surgiu o interesse do Comitê Brasileiro de Construção Civil (COBRACOM) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em normatizar o assunto. Neste mesmo ano tiveram conhecimento dos textos: Desempenho térmico de Edificações: definição, símbolos e unidades e Desempenho térmico de Edificações: cálculo da transmitância térmica de elementos e componentes, os quais mais tarde fizeram parte de uma importante norma (GHISI et al., 2003).

Barbosa e Lamberts em outubro de 1993 apresentaram mais cinco textos elaborados através da análise de normas de outros países, somando sete propostas de suma importância para o levantamento da nova regulamentação. As sete propostas apresentadas foram as seguintes: (1) Definição, símbolos e unidades; (2) Cálculo da transmitância térmica de elementos e componentes; (3) Procedimentos para tratamento de dados climáticos; (4) Zoneamento bioclimático brasileiro; (5) Desempenho térmico e energético de edifícios residenciais; (6) Desempenho térmico e energético de edifícios comerciais; e (7) Métodos de ensaio (GHISI et al., 2003).

Para que uma edificação atinja os critérios mínimos de desempenho térmico descritos na norma 15.575-1, a temperatura máxima do ar no interior de recintos de permanência prolongada (salas e dormitórios) deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo de temperatura do ar no ambiente externo, caso não haja presença de fontes internas de calor. E as temperaturas mínimas internas devem ser maiores que as temperaturas mínimas externas acrescidas de 3°C (ABNT, 2013).

O desempenho térmico de coberturas depende das propriedades físicas dos materiais. As coberturas devem ser leves e possuir maior resistência térmica, a fim de garantir o isolamento térmico evitando que a face inferior da cobertura (forro) se aqueça excessivamente (RORIZ, 2008).

O item 2.1 apresenta a importância do Clima da região no desempenho térmico. Conforme as normas NBR 15.220/2003 e 15.575/2013, o Brasil é dividido em zonas bioclimáticas e para cada região devemos adotar critérios mínimos para avaliar o desempenho da cobertura. O posicionamento geográfico da edificação tem relação direta com o seu desempenho e é através da classificação das zonas bioclimáticas que podemos ter uma melhor avaliação da cobertura de acordo com cada clima (ABNT, 2003). Veremos nos itens subsequentes que a maior parcela de energia térmica absorvida pela a edificação é proveniente dos raios solares. A intensidade de radiação absorvida depende do ângulo de incidência, da trajetória dos raios solares e da composição da atmosfera (PERALTA, 2006).

2.3 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico é um estado de satisfação com o ambiente. O ser humano apresenta melhor estado de saúde e eficiência em condições em que não há exposição a estresse e fadiga térmica. O homem é um animal homeotérmico, ou seja, sua energia é adquirida através de fenômenos térmicos que ocorrem devido a reações químicas de compostos orgânicos. Cerca de 20% dessa energia é transformada em potencial de trabalho e os 80 % restantes são transformada em calor, que é dissipado ao ambiente para regular a temperatura corporal mantendo próximo de 37°C. Quando as trocas de calor do corpo humano com o ambiente acontecem sem muito esforço, o indivíduo se encontra em equilíbrio térmico (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Estabelecer critérios em relação ao conforto térmico requer incorporar, além das variáveis climáticas citadas, as temperaturas das superfícies presentes no ambiente e a atividade desenvolvida pelas pessoas. Devido ao grande número de variáveis que fazem parte da determinação do conforto térmico podemos concluir que seu conceito é relativo, logo é impossível definir com exatidão uma zona termicamente confortável (PIMENTA et al., 2015).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009), em 1987 a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) desenvolveu o Diagrama de Conforto Térmico Humano (Figura 1). O diagrama apresenta faixas de temperaturas e umidade adequadas para o conforto térmico humano e a necessidade de fatores adicionais.

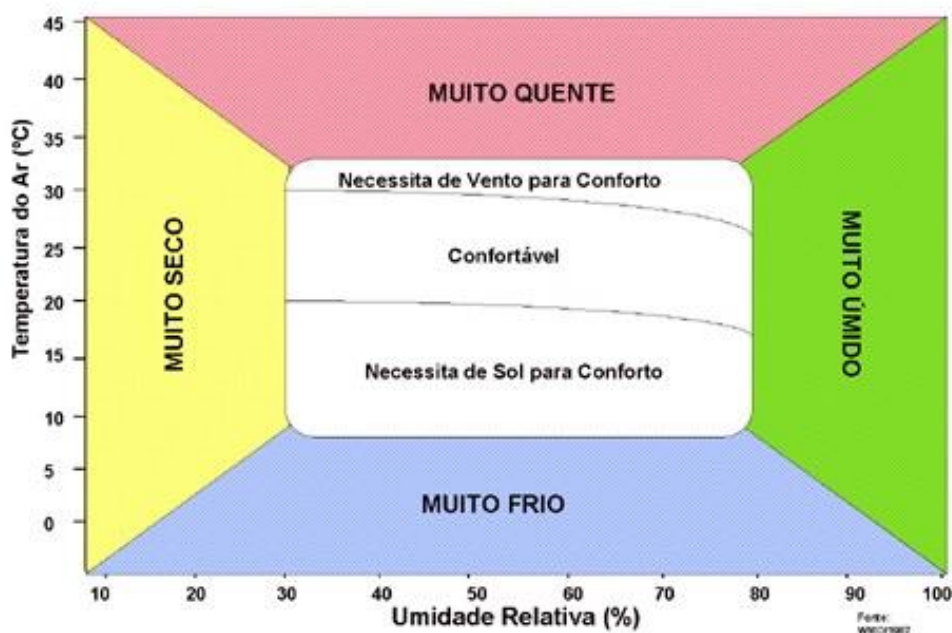


Figura 1. Diagrama de Conforto térmico Humano. (Fonte: INMET)

Em 1970 o professor dinamarquês Ole Franger apresentou o método mais conhecido para determinação dos índices de conforto térmico. Mais tarde suas pesquisas foram usadas para elaborar a norma internacional ISO 7730/1984. Franger avaliou o conforto térmico através da medição de variáveis como, por exemplo, o nível de atividade física da pessoa e pelo tipo de roupa que a mesma utiliza, bem como por parâmetros físicos como temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento e umidade do ar. Caso estes índices possam ser medidos ou estimados, podemos prever a sensação térmica através do cálculo do índice PMV (Porcentagem de Pessoas Satisfeitas) e do PPD (Porcentagem e pessoas Insatisfeitas) para diferentes condições térmicas do ambiente (GALLO; RIBEIRO, 2007). Após suas pesquisas Fanger concluiu que para ambientes de ocupação humana o índice PPD deve ser inferior a 10%, o que corresponde a uma variação de $\pm 0,5\%$ no PMV (NETO, 2003).

2.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Halliday (2012), existem três mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação. A condução é a transferência que ocorre pelo contato direto entre os corpos. Devido à alta temperatura os átomos e elétrons vibram, e a energia é transferida através das colisões entre eles. A transferência de calor por condução depende da constante de condutividade térmica que varia de acordo com cada material. Um material

que transfere facilmente calor é considerado um bom condutor térmico, logo sua condutividade térmica é alta.

A convecção é a transferência de calor que acontece quando um fluido, como ar ou água, entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior. A temperatura do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta e essa parte do fluido se expande, ficando menos densa. O fluido expandido é mais leve que o restante do fluido que o cerca, devido a isso, surge uma força de empuxo que o faz subir. Logo o fluido mais denso se escoa para tomar o lugar do fluido menos denso, que sobe, esse processo pode continuar indefinidamente (HALLIDAY, 2012).

A radiação é a transferência de calor através de ondas eletromagnéticas, também chamadas de radiação térmica, correspondem à faixa do espectro cujos comprimentos de onda se situam entre 0,2 e 100 microns (onda curta). Possui a propriedade de reduzir as temperaturas dos corpos que as emitem e elevar as temperaturas dos que as absorvem. Todo corpo com temperatura maior que 0 K (-273 °C) emite radiação térmica. Quanto mais alta for a temperatura do corpo menor será o comprimento de onda correspondente à energia (RORIZ, 2008).

De acordo com Marinowski et al. (2010), a emissão de radiação depende do coeficiente de emissividade. Essa propriedade fornece a medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a um corpo negro. Ela depende fortemente da superfície do material e de seu acabamento.

2.5 MECANISMOS DE TROCAS TÉRMICAS EM TELHADOS

A cobertura é a parte da edificação mais exposta à radiação solar, por isso é a maior responsável pelo calor transmitido ao ambiente interno (OLIVEIRA; SOARES; SANTOS, 2016).

A Figura 2 mostra de forma esquemática como ocorrem as trocas térmicas na cobertura. Parte da radiação solar incidida sobre a superfície da telha é absorvida e outra parte é refletida. Ao mesmo tempo ocorrem trocas por convecção, pois o ar ao redor da cobertura esta em constante movimento devido à variação de sua densidade. Já no interior da telha ocorrem trocas de calor por condução, a energia é transferida até a face interior do telhado e ela passa a emitir radiação térmica na forma de calor para o ambiente interno (PERALTA, 2006).

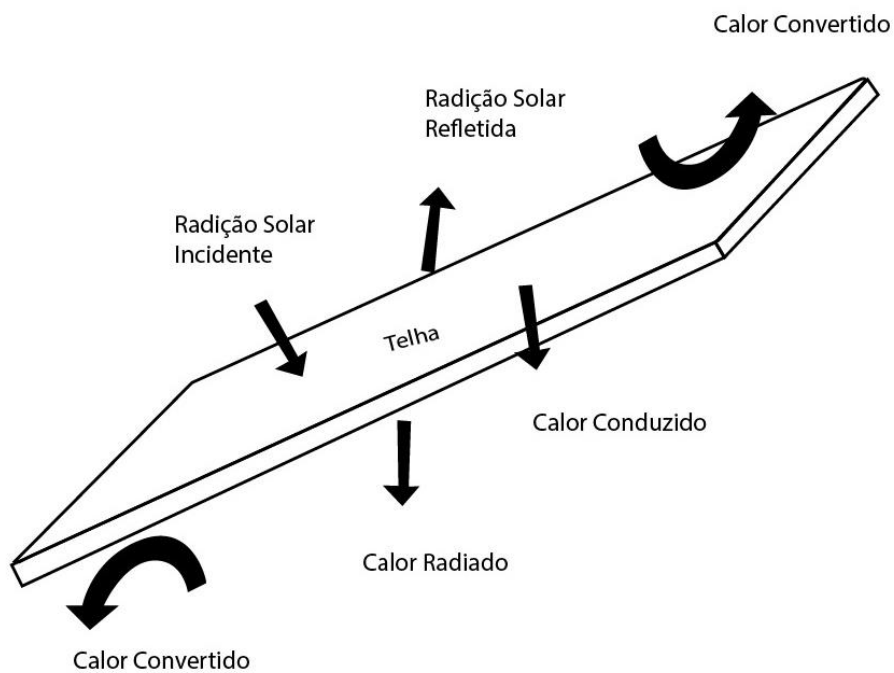


Figura 2. Representação esquemática das trocas térmicas em telhados (Fonte: Própria, 2018).

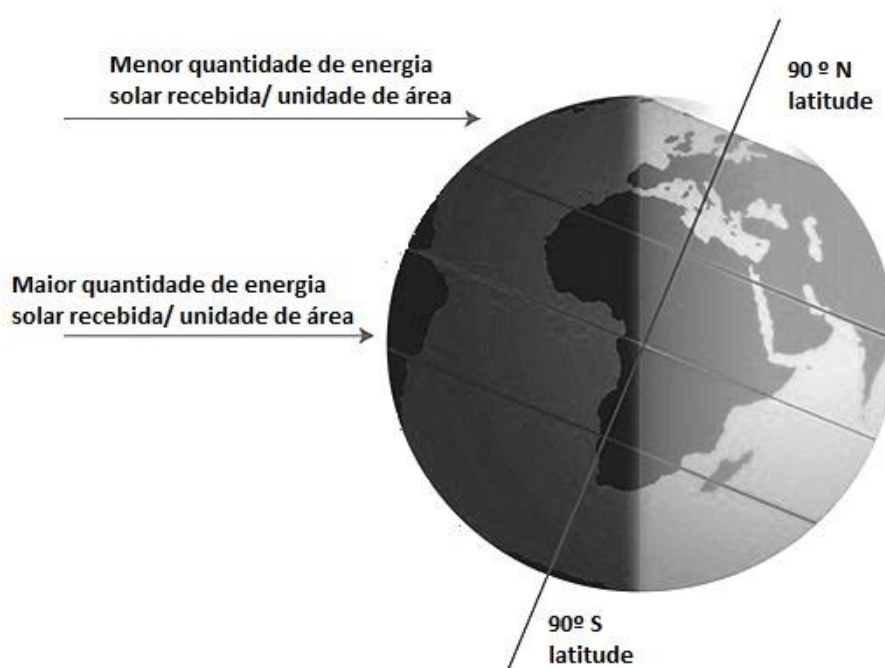


Figura 3. Representação da variação no ângulo de incidência solar em função da latitude (Fonte: Própria, 2018).

A intensidade da radiação solar depende da trajetória em que os raios atravessam a atmosfera. Conforme mostra a figura 3, ela varia de acordo com a latitude e estação do ano. Observa-se que quanto maior a latitude da região, menor será o ângulo de incidência e logo a trajetória que os raios solares devem percorrer até atingir a edificação será maior, tornando-os menos intensos. Além do ângulo de incidência, a composição da atmosfera também poderá interferir na intensidade dos raios (FROTA et al., 2001).

A propriedade dos materiais das superfícies atingidas pelos raios solares também tem grande influência no desempenho térmico da cobertura. São elas: absorvância, refletância e emissividade (características superficiais à radiação); condutividade térmica, calor específico, transparência à radiação, resistência térmica, condutância térmica, capacidade térmica, coeficiente de convecção superficial e coeficiente global de transmissão térmica de componentes (PERALTA, 2006).

2.6 NORMATIZAÇÃO BRASILEIRA

2.6.1. NBR 15.220/2003

A norma de Desempenho térmico de edificações NBR 15.220 foi concluída em setembro de 2003 e tem objetivo de normatizar parâmetros para avaliação do desempenho térmico dos elementos da edificação, bem como métodos para calcular as propriedades térmicas. Ela é dividida em cinco partes (1) Definições, símbolos e unidades; (2) Métodos de cálculo da transmitância térmica; (3) Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitação unifamiliares de interesse social; (4) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida; (5) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico (ABNT, 2003).

A parte 1 da norma estabelece as definições e os correspondentes símbolos e unidades de termos relacionados com o desempenho térmico de edificações. De acordo com a norma supracitada resistência térmica “é o quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento ou componente construtivo pela densidade de fluxo de calor, em regime estacionário”, condutividade térmica “é a propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de 1 W/m^2 , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1

Kelvin por metro” e a taxa de fluxo de calor “é o quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo”, estes são conceitos essenciais para o entendimento do desempenho térmico de coberturas.

Na segunda parte, a norma estabelece procedimentos e métodos para calcular as propriedades térmicas citadas acima. A resistência térmica é obtida a partir da Equação 01, dependendo da espessura da camada de material (e) e da condutividade térmica (λ) do mesmo.

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Este cálculo é feito para cada uma das seções das camadas do material, sendo que a resistência para cada seção (R_t) não ventilada é obtida de acordo com a Equação 02, considerando a existência de seções com diferentes resistências térmicas.

$$R_t = \frac{Aa + Ab + \dots + An}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb} + \dots + \frac{An}{Rn}} \quad (2)$$

Onde, R_a, R_b, \dots, R_n são as resistências térmicas de superfície à superfície para cada seção e Aa, Ab, \dots, An são as áreas de cada seção.

$$R_t = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (3)$$

Onde R_t é a resistência térmica de superfície a superfície e R_{se} e R_{si} são as resistências superficiais externa e interna, respectivamente, obtidas da tabela A.1 da norma 15.220-2.

A partir do cálculo da resistência térmica podemos calcular a transmitância térmica (U) a partir da equação 4.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (4)$$

Outro parâmetro importante para análise do desempenho é a capacidade térmica de componentes (C_T), obtida de acordo com a equação 05.

$$Ct = \sum_{i=1}^n \lambda_i . Ri . Ci . \rho_i = \sum_{i=1}^n e_i . Ci . \rho_i \quad (5)$$

Onde:

λ_i = é a condutividade térmica do material da primeira camada;

Ri = é a resistência térmica da primeira camada;

e_i = é a espessura da primeira camada;

Ci = é o calor específico do material da primeira camada;

ρ_i = é a densidade de massa aparente do material da primeira camada.

O fator solar (FS_o) pode ser obtido pela equação 6. Onde, U é a transmitância térmica do componente, R_{se} é a resistência superficial externa e α é a absorptância à radiação solar (depende da cor), quanto mais escuro, maior é a absorptância logo maior será a radiação transmitida.

$$FS_o = 4 . U . \alpha \quad (6)$$

A parte 3 da norma trata sobre o Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Esta parte da norma apresenta a divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que aperfeiçoam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática (ABNT, 2003).

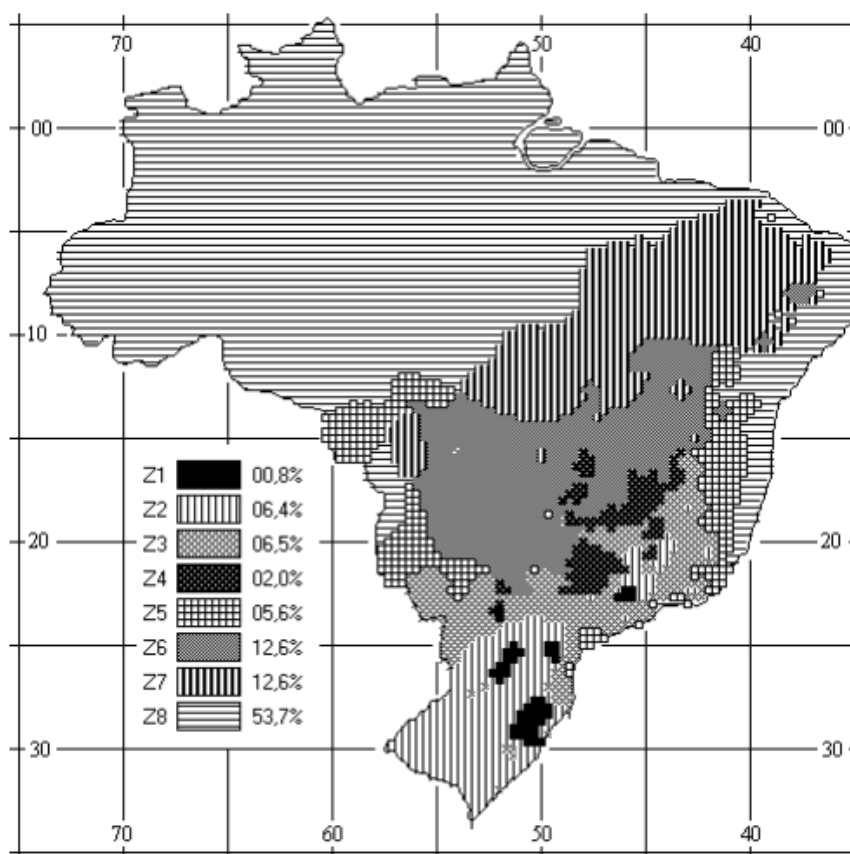


Figura 4. Zoneamento bioclimático brasileiro (Fonte: NBR 15220/2003).

De acordo com a Figura 4 e o anexo A da 3ª parte da norma 15.220, que mostra as zonas bioclimáticas de 330 cidades, o estado de Goiás está dividido entre as zonas bioclimáticas 4, 6 e 7. A norma não apresenta o zoneamento da cidade de Goianésia, sendo assim consideraremos a zona da cidade mais próxima que é Pirenópolis, classificada como zona bioclimática 6.

As partes 4 e 5 da norma apresentam procedimentos para cálculo da resistência térmica e condutividade térmica pelos métodos da placa quente protegida e método fluximétrico, respectivamente (SANTOS et al., 2015).

2.6.2. NBR 15.575/2013

Em vigor desde Julho de 2013, a NBR 15.575 estabelece critérios técnicos mínimos para garantir conforto e qualidade, em cada um dos sistemas que compõem uma edificação: estrutura, vedações, pisos, instalações e coberturas (MARQUES, 2015).

A norma de desempenho é composta por 6 partes (ABNT, 2013):

- Parte 1 – Requisitos Gerais: estabelece os requisitos e critérios de desempenho do sistema estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e na operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho luminoso, durabilidade e manutenibilidade, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental.
- Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais: estabelece requisitos que atendem apenas ao sistema estrutural.
- Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos: estabelece requisitos que atendem apenas ao sistema de pisos, como exemplo, segurança ao fogo.
- Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: estabelece requisitos que atendem apenas ao sistema de vedações verticais.
- Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas: estabelece requisitos que atendem apenas ao sistema de cobertura.
- Parte 6 – Requisitos para sistemas hidrossanitários: estabelece requisitos que atendem apenas ao sistema hidrossanitário.

A edificação como um todo deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na NBR 15220-3. De acordo com a NBR 15.575-1, existem dois métodos para avaliar o desempenho térmico dos componentes da edificação: (1) o método simplificado ou normativo, consiste em verificar os critérios para os sistemas de vedação e cobertura. Para os casos em que a avaliação de transmitância térmica e capacidade térmica, conforme os critérios e métodos estabelecidos nas partes 4 e 5 desta norma resultem em desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo pelo método da simulação computacional, o segundo método (2) denominado medição *in loco* verifica o atendimento dos critérios e requisitos no local ou em protótipos, após o fim da obra, pois o acabamento da obra influencia significativamente no resultado final para análise de desempenho.

Para avaliação do desempenho térmico a partir de simulações computacionais, a norma orienta métodos a serem adotados para calcular as propriedades térmicas consideradas na avaliação do desempenho térmico, bem como os valores médios usuais para cada zona bioclimática. A avaliação computacional deve ser feita para um dia típico de inverno e de verão (ABNT, 2013).

2.7 AS TELHAS

2.7.1 Telha “Ecológica” Tetra Pak

As telhas ecológicas (figura 5) são feitas a partir da reciclagem de resíduos de caixas acartonadas, mais conhecidas como Tetra Pak. A maioria das pessoas conhece a embalagem pelo nome da empresa, Tetra Pak, por ser o principal produto produzido pela empresa sueca. As caixas Tetra Pak são compostas por 20% de plástico, 75% de papel e 5% de alumínio (TETRA PAK, 2002).

Existem dois modos de reaproveitamento das embalagens. O primeiro é por meio de fábricas que utilizam plasma para dividir os três componentes da caixa. Este método usa energia elétrica para produzir um jato de plasma a 15.000°C aquecendo a mistura de plástico e alumínio. Ao fim do processo o plástico é transformado em parafina, o alumínio é totalmente recuperado em forma de lingotes de alta pureza e o papel é vendido a empresas de papel. O segundo método de reaproveitamento é a retirada do papel das caixas por meio de um hidrapupler da fábrica papelreira Klabin. O papel extraído é reciclado em diversos produtos, já o alumínio e o plástico passam por uma prensa quente onde o plástico se derrete, funcionando como uma cola grudando-se assim com o alumínio, o material resultante tem diversas utilidades (HERRERA, 2008).



Figura 5. Telha Ecológica Tetra Pak. (Fonte: www.ecoeficientes.com.br, 2013).

2.7.2 Telhas de Fibrocimento

Telhados de fibrocimento (figura 6) constituem a solução de cobertura mais barata para habitações de interesse social, instalações rurais, galpões industriais e obras de infraestrutura, em comparação a diversos sistemas disponíveis no país com outros tipos de telhas (OLIVEIRA et al., 2016).

Estas telhas são feitas a base de cimento, com adições minerais, sem agregados e com fibras de reforço distribuídas discretamente pela matriz. O fibrocimento surgiu com a finalidade de substituir a fibra de amianto, pois este material trás muitos prejuízos à saúde humana, por se tratar de um material tóxico. Suas principais vantagens são o baixo custo e o menor peso, exigem menos carregamentos em pilares, reduzindo o custo final da obra. E suas desvantagens são efeito estético pouco agradável e o aumento exagerado da temperatura interna dos ambientes quando exposta a radiação solar por longos períodos (OLIVEIRA et al., 2016).



Figura 6. Telha de Fibrocimento. (Fonte: www.damale.com.br, 2010).

3. METODOLOGIA

3.1 CÉLULAS TESTES

Para determinar o desempenho térmico das telhas escolhidas, utilizou-se o método de medição *in loco* (item 11.1a da NBR 15.575-1), através do modelo de células teste. Foram construídas duas células testes iguais, variando-se apenas a cobertura (telha ecológica e fibrocimento), no setor de experimentos da Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG, conforme figura 7, situada na cidade de Goianésia, no centro-oeste do estado de Goiás, entre as Latitudes: 15° 19' 33" Sul, e Longitudes: 49° 7' 2" Oeste, com altitude de 641 m sobre o nível do mar e o clima Tropical com estação seca. O espaço físico, os materiais e a mão de obra foram cedidos pela direção da FACEG.



Figura 7. Vista superior da área de construção das células teste (Fonte: Google earth, 2018).

3.1.1 PROJETO

O projeto das células teste foi desenvolvido pelo Prof.º Me. Eduardo M. Toledo para o programa de Iniciação Científica na Uni Evangélica 2016-2017, tomando como referência a pesquisa sobre protótipos experimentais para monitoramento térmico (KRÜGER et al., 2004).

As células testes possuem dimensões de 1x1m e altura de 1,27 m. Foram construídas em fundação do tipo radier, com área de 5,29 m², dispostas a 1,5 m de distancia entre elas. A área foi delimitada e cercada com tela, a fim de preservar os materiais usados para a pesquisa.

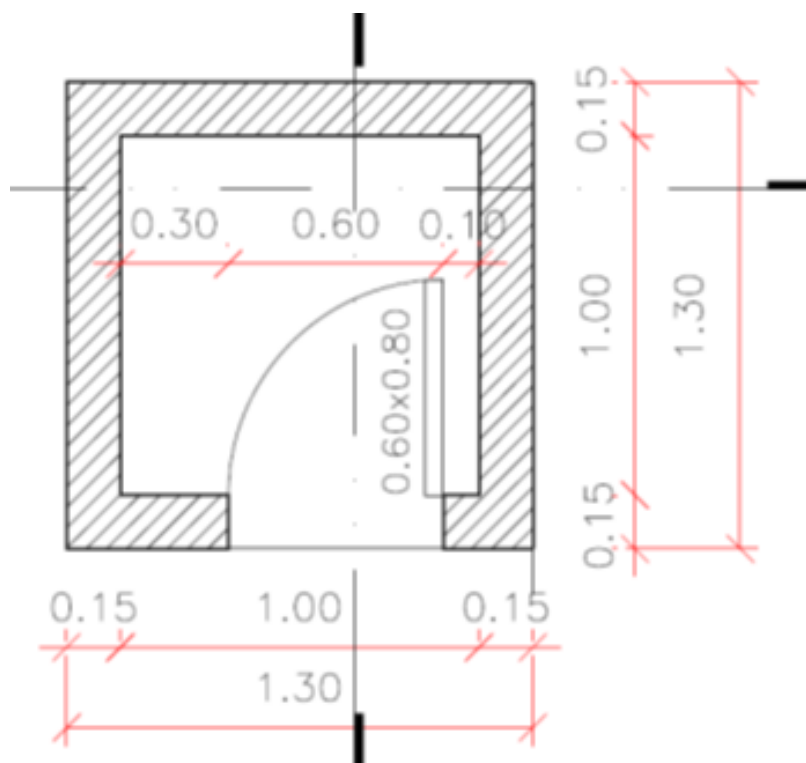


Figura 8. Planta baixa da célula teste em escala gráfica (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

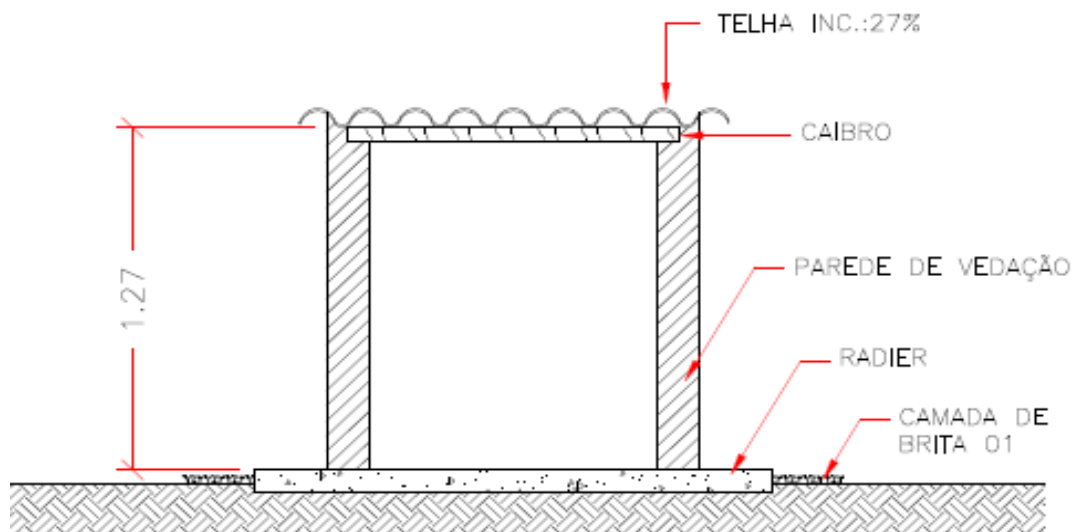


Figura 9. Detalhamento transversal da célula teste em escala gráfica (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

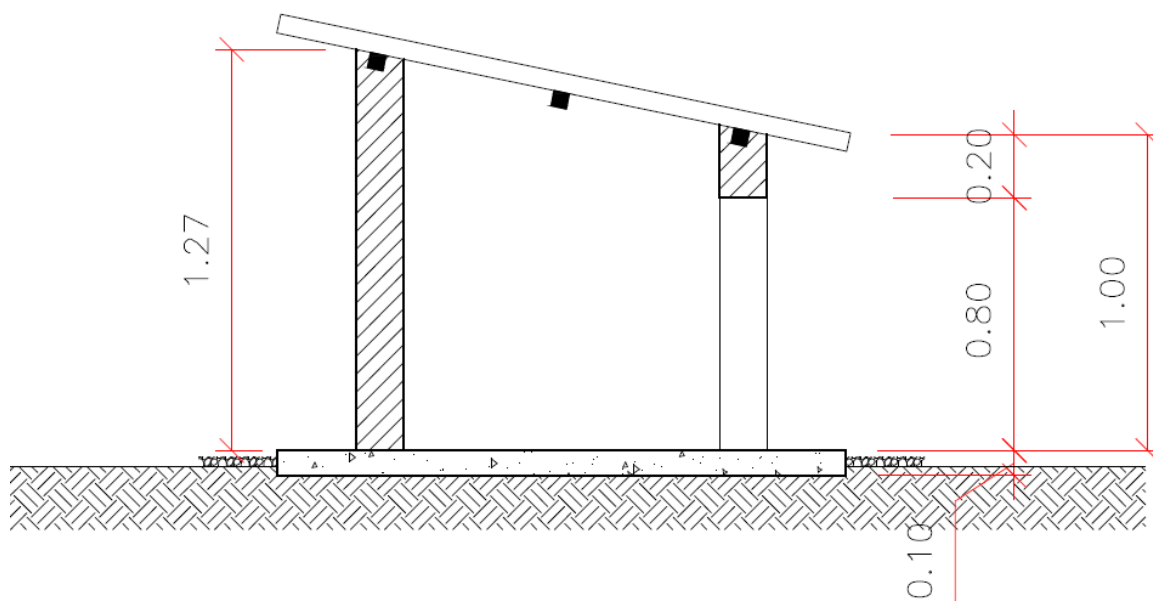


Figura 10. Detalhamento longitudinal da célula teste em escala gráfica (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

3.1.2 EXECUÇÃO

A execução seguiu as diretrizes projetuais que previa as seguintes especificações:

- **Paredes:** alvenaria convencional (bloco cerâmico de 6 furos - 9,0x14x19cm);
- **Fundação:** radier de concreto armado ($fck=15$ Mpa, armado com tela de aço CA60 de $\phi=4,2$ mm e espaçamento de 15 em 15 cm);
- **Telhas:** Na célula teste 2, foi utilizada telha ecológica (fabricada a partir de resíduos de embalagens Tetra Pak) de 6 mm sem acabamento de manta térmica e na célula teste 3, telha de fibrocimento com 6 mm. As telhas foram fixadas sobre a estrutura de madeira (caibros) e constituíram uma cobertura com inclinação de 27%.

Para execução das células testes, utilizaram-se recursos materiais e humanos cedidos pela direção da FACEG. Durante este período, que teve início no dia 20/02/2017 e fim no dia 12/03/2017, três funcionários da instituição (01 mestre de obra, 01 pedreiro e 01 servente) trabalharam até finalização das células teste. No apêndice A, apresentamos de forma detalhada a descrição das etapas de execução das células testes, assim como um registro fotográfico. Foram construídas três células teste, conforme mostra a figura 11,

porém uma delas, com cobertura de telha cerâmica, não faz parte do objeto de estudo desta pesquisa.



Figura 11. Célula teste com telha ecológica (Fonte: Acervo pessoal, 2017).

3.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O sistema de aquisição de dados utilizados no projeto foi desenvolvido pelo Prof. Me. Eduardo M. Toledo e pelo Prof. Esp. Ivandro Rocha, com auxílio dos acadêmicos Pollyana Francisca de Oliveira e Rhayck Jordan Magalhães, também envolvida no projeto de Iniciação Científica (IC). Este sistema é composto pelo Hardware (Arduíno Uno R3, sensores de temperatura - DS18B20 e DHT2, módulo com conexão micro SD, buzzer, módulo RTC e demais componentes eletrônicos como led's, resistores, protoboard e etc) e o Software, desenvolvido na própria interface de desenvolvimento do Arduino (IDE). A Figura 12 mostra o sistema de aquisição de dados.

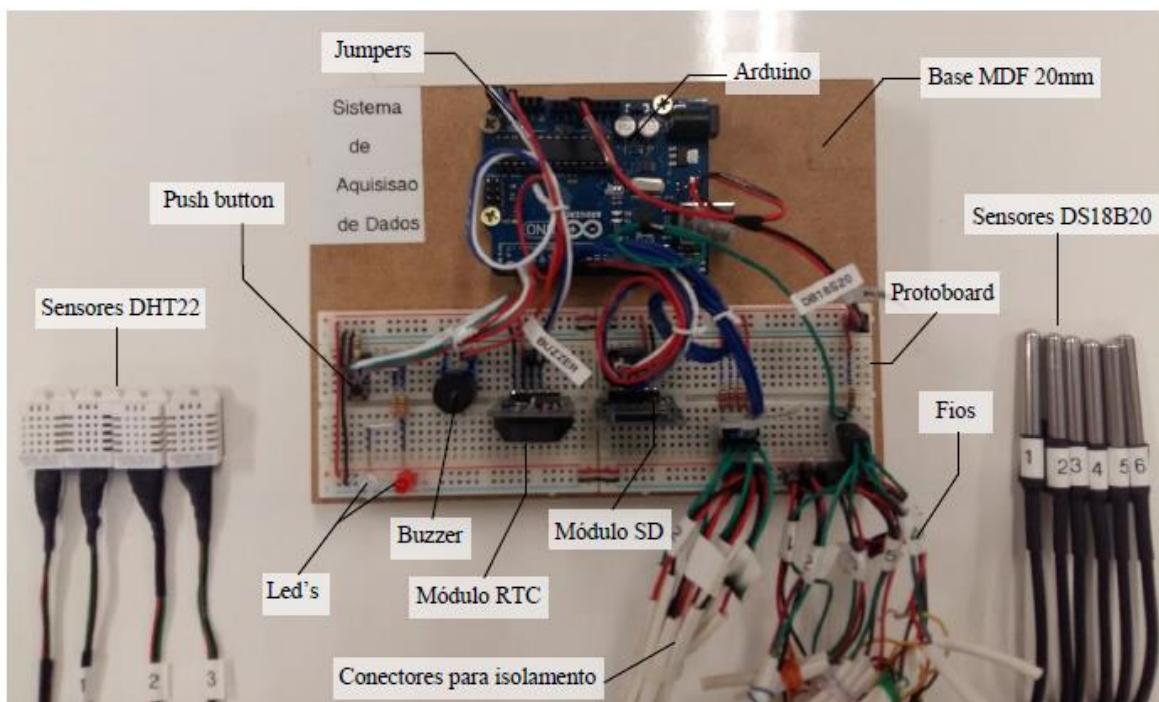


Figura 12. Sistema de aquisição de dados (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

O software do sistema de aquisição de dados captura e armazenar valores de temperatura e umidade, através dos sensores, em intervalos de 15 minutos durante todo o período do dia, ou seja, 24 horas por dia. A figura 13 mostra o serial monitor do Arduino.

```

Dispositivo(s) DS18B20 localizado(s) : 6
Gravado.
Data      Hora      rtc      umu      umt      cui      cit      c2u      c2t      c3u      c3t      sen[1]  sen[2]  sen[3]  sen[4]  sen[5]  sen[6]
2017.04.15 07:45:00 28.00    80.60    23.40    75.00    25.70    83.20    24.40    75.60    24.50    26.44    26.50    25.81    26.62    25.44    25.31
Data      Hora      rtc      umu      umt      cui      cit      c2u      c2t      c3u      c3t      sen[1]  sen[2]  sen[3]  sen[4]  sen[5]  sen[6]
2017.04.15 07:45:00 28.00    80.60    23.40    75.00    25.70    83.20    24.40    75.60    24.50    26.44    26.50    25.81    26.62    25.44    25.31

```

Figura 13. Serial monitor da IDE do Arduino (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

3.2.1 Variáveis Medidas

As variáveis medidas pelos sensores são:

- Temperatura superficial interna da telha (em °C);
- Temperatura superficial externa da telha (em °C);
- Temperatura do ar no interior da célula (em °C);
- Temperatura do ar na parte externa da célula (em °C);

Nas células teste, foram instalados dois tipos de sensores: o DS18B20, para medir as temperaturas superficiais (internas e externas) e o DHT22, para medir a temperatura no interior das células. Neste trabalho vamos nos concentrar na temperatura do interior das células testes, medidas a partir do sensor DHT22.

O sensor DHT22 foi posicionado aproximadamente no ponto médio do volume de cada célula. Também foi posicionado um sensor DHT22 nas proximidades das células testes para quantificar a temperatura do ar do ambiente.

3.2.2 Validação dos Dados

Para certificar a confiabilidade científica dos dados, foi feita uma validação dos dados usando um equipamento referência que executa as mesmas medidas, chamado termo higrômetro da marca Instrutherm. O objetivo da validação foi comparar os valores de temperatura e umidade obtidas pelo sistema de aquisição de dados com um equipamento padrão calibrado. Monitorou-se as temperaturas e humidade por um período de 24 horas em intervalos de 15 minutos entre cada leitura. A figura 14 mostra o sistema de validação montado. Obteve variação máxima de 6% entre os valores encontrados no aparelho e o sistema de aquisição de dados.

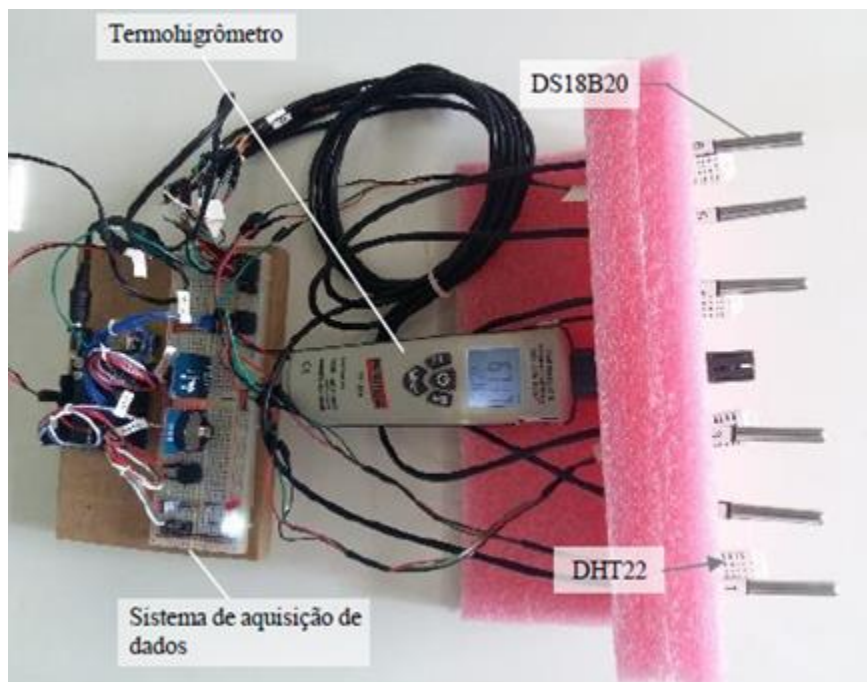


Figura 14. Sistema de Validação Científica dos dados. (Fonte: TOLEDO E. M., 2017).

3.2.3 Coleta de Dados Experimentais

Como mencionado no item 3.2.2, o monitoramento da temperatura das células teste foi realizado durante 24 horas de cada dia. Este monitoramento aconteceu entre os dias 19 de maio de 2017 e 05 de Julho de 2017, descartando os dias 20/05, 04/05, 25/05/e 24/06, pois houve falha na leitura e armazenamento dos dados, somando um total de 44 dias de monitoramento contínuo. Os dados foram exportados através do cartão de memória e analisados em forma de gráficos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como foi destacado na metodologia do trabalho, foram utilizados, valores de temperatura aferidos simultaneamente no interior das duas células e na parte externa, em intervalos de 15 minutos durante 24 horas por dia. A figura 15 mostra o gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e da temperatura ambiente em função do tempo.

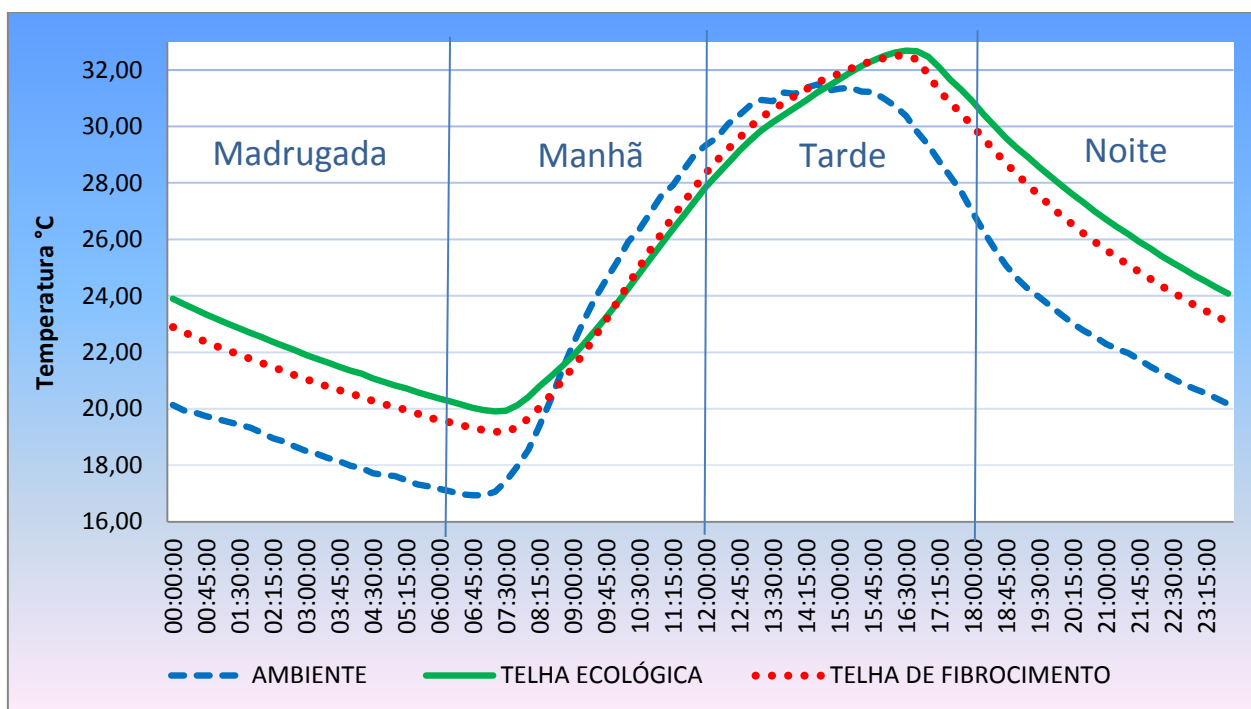


Figura 15. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e da temperatura ambiente externa em função do tempo (Fonte: Própria, 2018).

Observamos que as diferenças de temperaturas entre as células testes variam de acordo com o período do dia. Analisaremos a temperatura em cada período para obtermos uma melhor compreensão do comportamento térmico de cada uma das telhas.

A Figura 16 mostra o gráfico das temperaturas médias das células testes durante as madrugadas entre 00 hrs e 06 hrs. Neste período é quando a temperatura ambiente atinge seus valores mínimos. De acordo com a norma 15.575 a cobertura deve manter a temperatura maior que a temperatura externa a edificação. Vemos neste caso que a célula teste portando telha ecológica variou sua temperatura interna de 23,9 °C para 20,48°C, enquanto que a telha de fibrocimento variou de 22,89 °C para 19,67 °C, a amplitude térmica durante o período foi de aproximadamente 3,42 °C e 3,22°C, respectivamente.

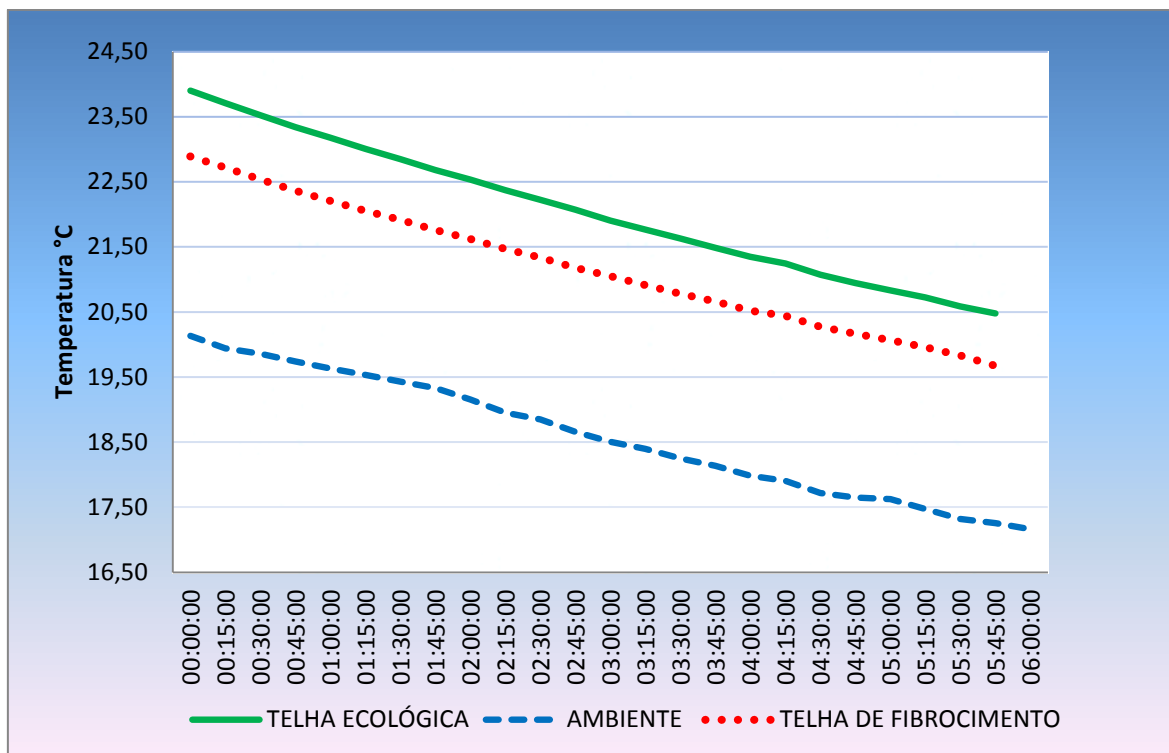


Figura 16. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 00 hrs às 06 hs (Fonte: Própria, 2018).

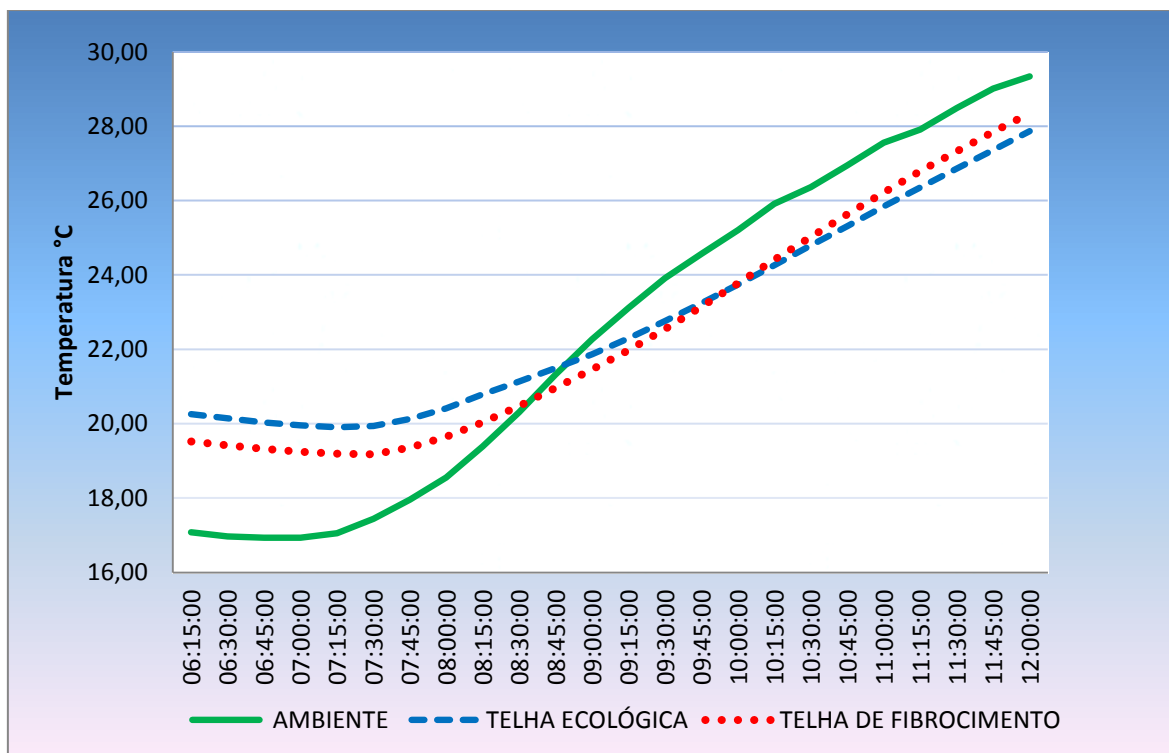


Figura 17. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 06 hrs às 12 hs (Fonte: Própria, 2018).

A figura 17 mostra a variação da temperatura no período da manhã. Devido ao nascer do sol, a incidência de raios solares se torna presente no ambiente, como visto no item 2.4 o ganho térmico em edificações se dá em grande parte pela absorção de radiação térmica pela a superfície da cobertura. Este período é importante para a análise comparativa das duas telhas, pois é quando as curvas interceptam entre si e entre a curva da temperatura ambiente. Nota-se que a temperatura ambiente aumenta a uma taxa mais elevada que a temperatura no interior das células testes, essa é uma característica importante das coberturas, manter a temperatura amena dentro das edificações.

A temperatura ambiente salta dos valores menores para os maiores no gráfico, enquanto que a temperatura no interior da telha ecológica faz o contrário, já a telha de fibrocimento na maior parte se encontra entre as outras duas. Este comportamento se dá devido à diferença nas propriedades físicas das telhas. Podemos dizer que a telha de fibrocimento absorve calor mais lentamente que a telha ecológica.

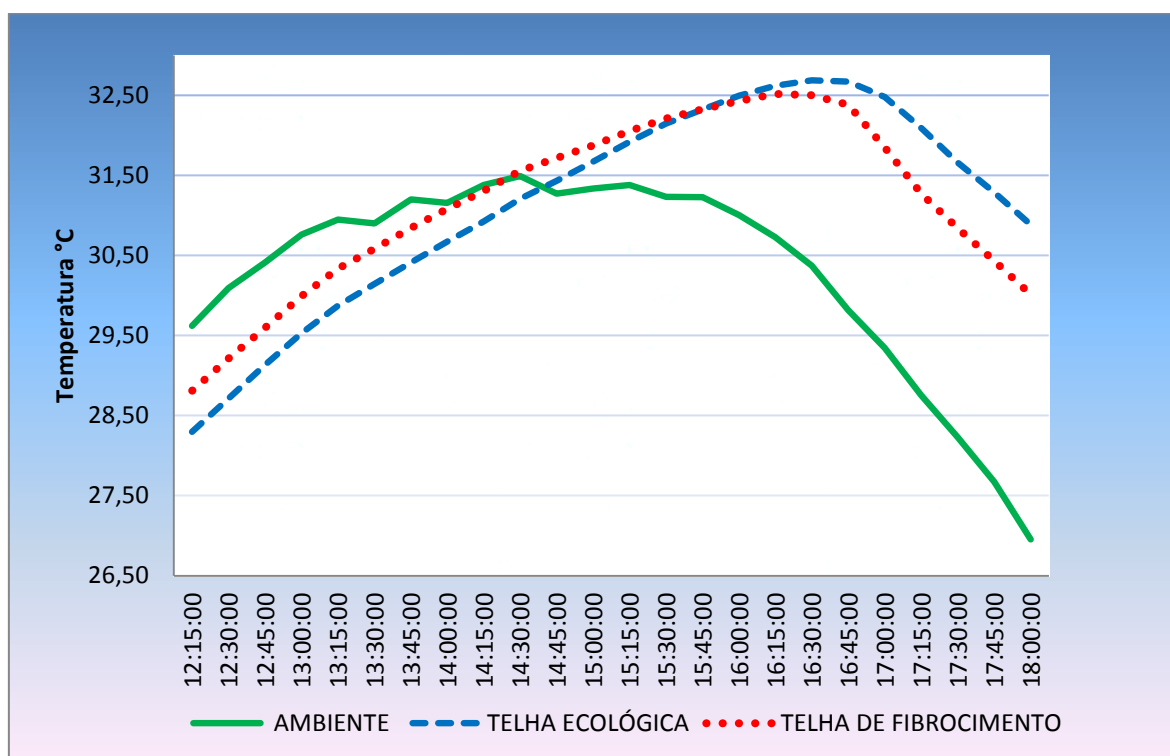


Figura 18. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 12 hrs às 18 hs (Fonte: Própria, 2018).

A figura 18 mostra a variação da temperatura interna no período da tarde (entre 12 e 18 horas). É neste período que as temperaturas atingem seus valores máximos, pois os raios solares ficam mais intensos nesses horários. No início da tarde a temperatura no

interior da célula teste com telha ecológica esteve menor que todas as outras, este é um ponto positivo para este tipo de telha. É durante as tardes que notamos a maior sensação de desconforto térmico no Brasil, logo o uso de alternativas para resfriamento tende a ser maior nesse período. A telha ecológica reduz a temperatura comparada com o exterior das edificações, isso poderia gerar uma redução no consumo de energia com condicionadores de ar.

Todavia, avaliando os pontos máximos de temperaturas notamos uma desvantagem sobre a telha ecológica, seu valor máximo foi de aproximadamente 32,7 °C enquanto que o valor máximo da telha de fibrocimento foi de 32,5 °C e a temperatura ambiente chegou a cerca de 31,5°C .

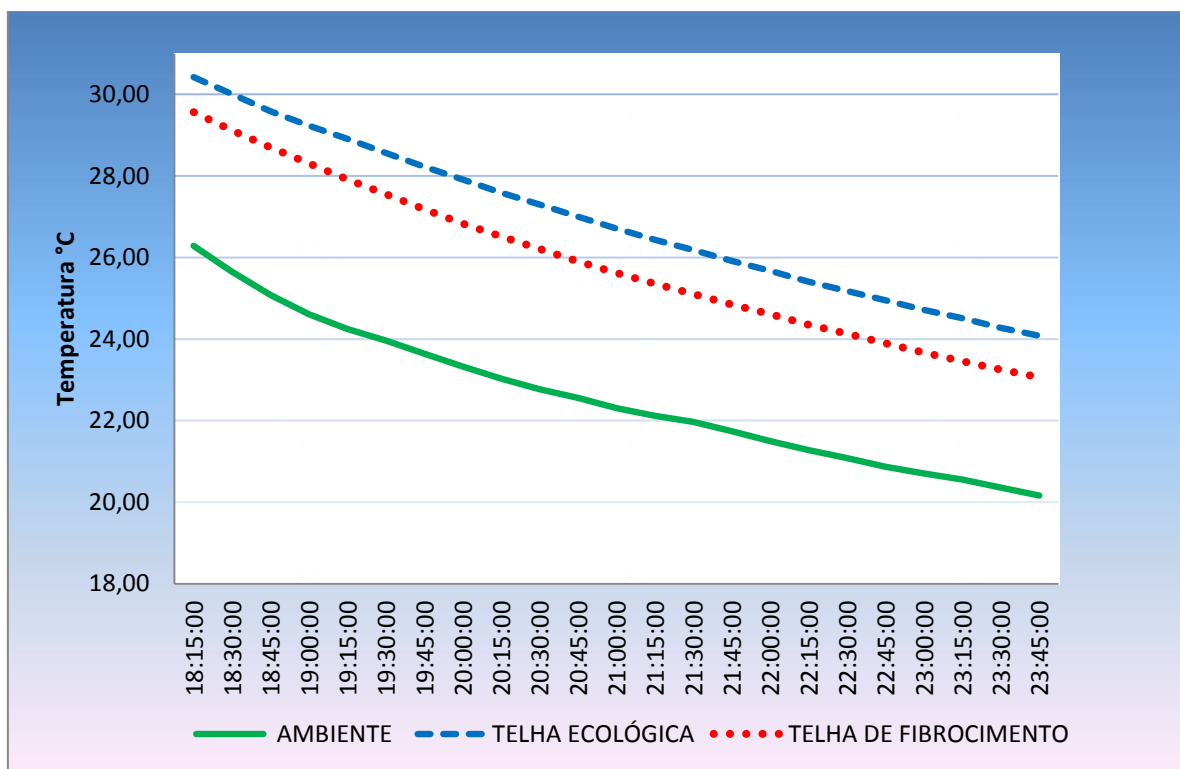


Figura 19. Gráfico da média das temperaturas internas de cada célula teste e ambiente de 12 hrs às 18 hs (Fonte: Própria, 2018).

A figura 19 mostra a variação que as temperaturas internas apresentaram durante as noites (valores médios). Podemos inferir que durante a noite a curva apresenta declínio, isso se dá devido ao início da ausência de radiação solar. As coberturas passam a dissipar calor causando redução na temperatura interna das edificações. Neste período as taxas de variações das temperaturas no interior das células testes tiveram valores aproximados, porém a telha ecológica apresentou temperaturas maiores neste período comparado com a telha de fibrocimento.

Tabela 1: Síntese dos valores máximos e mínimos das temperaturas médias internas as células testes.

<i>Sistema de coberturas</i>	<i>Temperatura Interna (°C)</i>		<i>Amplitude térmica (°C)</i>	<i>Hora da Temperatura Máxima (°C)</i>
	<i>t máx</i>	<i>t mín</i>		
Telha "Ecológica" Tetra Pak	32,70	19,90	12,80	16h30min
Telha de Fibrocimento	32,50	19,18	13,32	16h15min
Sem cobertura (ambiente)	31,56	16,93	14,63	14h30min

A tabela 1 mostra os valores máximos e mínimos do interior de cada célula teste, a amplitude térmica e o horário de maior temperatura. A amplitude térmica é a diferença das temperaturas máximas e mínimas de um ambiente em um dado período, este conceito nos ajuda avaliar o conforto térmico no interior de edificações.

5. CONCLUSÕES

De acordo com a análise dos dados, observamos que ambas as telhas na maior parte dos períodos analisados, obedecem à norma de desempenho de edificações NBR 15.575/2013, onde diz que a temperatura no interior de edificações deve permanecer menor nos períodos mais quentes do dia e maior nos períodos mais frios para que ofereça o mínimo de conforto térmico. Contudo, além de verificar se as telhas oferecem conforto térmico, objetivamos a análise comparativa entre ambas. Conclui-se que a telha ecológica, mesmo atingindo valores maiores de temperatura entre 16 horas e 17 horas, apresentou melhor desempenho térmico que a telha de fibrocimento, devido à amenização na temperatura interna que ela proporciona em momentos que a temperatura externa atinge valores fora do padrão de conforto térmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Norma 15220 - Desempenho Térmico**, 2003. (Nota técnica).

ABNT. NBR 15575-1: Edificações Habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. **ABNT**, p. 1–60, 2013.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Sustentabilidade e a reciclagem de resíduos sólidos na construção civil**. [s.l: s.n.].

BARBOSA, M. J. Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 1, p. 15–28, 1997.

CONFEA/CREA. Código de ética profissional da engenharia, da agronomia, da geologia, da geografia e da meteorologia. **CDEN Colégio de Entidades nacionais**, v. 9 edição, p. 78, 2014.

CURSINO, A.; NUNOMURO, E.; TRÓI, M. DE. **Eficiência energética: guia para etiquetagem de edifícios**. 1^o edição ed. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, 2015.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 15, n. 3, p. 667–681, 2017.

FREITAS, Y.; LORENZO, R. Análise de desempenho térmico de edificações: Um estudo de caso na Cidade de Palmas – TO. **Desafios - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 3, n. 2, p. 14–25, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico: arquitetura e urbanismo**. 5^a edição ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. v. 136

GALLO, E. A.; RIBEIRO, F. N. Índice de Conforto Térmico ISO7730 em Automação Predial. **Universidade de Brasília**, p. 98, 2007.

GHISI, E. et al. **Normalização e Certificação na Construção habitacional**. Porto Alegre: [s.n.]. v. 3

HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8^o edição ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

HERRERA, J. A. Q. Aplicação Da Climatologia Dinâmica Ao Estudo Do Comportamento Térmico Das Edificações, Caso Específico: Telhas Produzidas a Partir Da Reciclagem De Caixas Acartonadas. 2008.

INMET. **Conforto térmico Humano**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/confortotermicoHumano>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

KRÜGER, E. et al. O uso de protótipos experimentais de baixo custo para avaliação de materiais de vedações quanto ao seu desempenho térmico. **ANTAC**, 2004.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. Desempenho térmico de edificações. **Universidade Federal de Santa Catarina**, p. 48, 2000.

MARQUES, C. DE S. Análise Crítica da Norma de Desempenho, ABNT NBR 15575: 2013 com Ênfase em Durabilidade e Manutenibilidade. p. 74, 2015.

MEADOWS, D. H. et al. **The Limits to Growth**. 5^o edition ed. New York: Potomac Associates - Universe Books, 1972.

NETO, A. S. Regulamentação de desempenho térmico e energético de edificações. p. 213, 2003.

OLIVEIRA, L. D. DE. Os " Limites do Crescimento " 40 anos depois: das " Profecias do Apocalipse Ambiental " ao " Futuro Comum Ecologicamente Sustentável ". **Revista Continentes**, v. 1, n. 1, p. 72–96, 2012.

OLIVEIRA, P. L. DE; SOARES, R. G.; SANTOS, S. X. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. **Revista Petra**, v. 2, p. 55, 2016.

PERALTA, G. Desempenho Térmico de Telhas: Análise de Monitoramento e Normalização Específica. **Dissertação (Mestrado-Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo) de São Carlos**, p. 131, 2006.

PIMENTA, A. I. et al. Conceito de conforto térmico humano. p. 26, 2015.

RODRIGUES, G. K.; PEZZUTO, C. C. Análise do desempenho térmico de coberturas. **XVII Encontro de Iniciação Científica ISSN 1982-0178 . II Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação ISSN 2237-0420**, p. 1–4, 2012.

RORIZ, M. Apostila da Disciplina Conforto e Desempenho Térmico de Edificações. n. 016, p. 63, 2008.

SANTOS, J. C. P. et al. Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. **Revista Materia**, v. 20, n. 4, p. 1030–1047, 2015.

SPARK, W. **Condições meteorológicas médias de Goianésia**. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/29988/Clima-característico-em-Goianésia-Brasil-durante-o-ano#Sections-Sources>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TETRA PAK. The history of and Idea. **Tetra Pak International**, 2002.

VESENTINE, J. W. **Brasil Sociedade e Espaço, Geografia do Brasil**. 1^o e 6^o ed. São Paulo: [s.n.].

APÊNDICE A

LIMPEZA DO TERRENO

Antes de iniciar a construção das células testes foi realizado a limpeza e nivelamento do terreno. A área tem dimensões de 12,60 m X 8,50 m e corresponde a exatamente 107,10m², a limpeza da mesma foi feito utilizando um Trator Yanmar Agritech modelo 1155-4 tração 4 x 4 com Pá Carregadeira acoplada. Com este equipamento foi retirado toda a matéria vegetal como também raízes de árvores e outros tipos de entulhos, deixando a área totalmente limpa e nivelada.

LOCAÇÃO DA OBRA

A locação faz parte da etapa inicial da obra, consiste em transcrever os principais elementos do projeto para o terreno. Para realização dessa etapa foi utilizado o método de gabarito. Este é o método mais utilizado e consiste em uma estrutura de madeira e fios de nylon que define todo o posicionamento dos elementos da obra.

Foram colocados quatro pontaletes, um em cada extremidade do perímetro de construção de cada célula teste. O perímetro foi determinado a 1 m de distância das paredes externas da construção. As tábuas foram fixadas aos pontaletes a 1 m de altura em relação ao nível do terreno.

FUNDAÇÃO

Antes de demarcar a alvenaria da obra no gabarito, realizaram a construção das fundações. A fundação usada na construção das células testes foi do tipo radier.

Os raders são lajes de concreto armado em contato direto com o terreno que recebe as cargas oriundas dos pilares e paredes da superestrutura e descarregam sobre uma grande área do solo. Geralmente, o radier é escolhido para fundação de obras de pequeno porte. O radier apresenta vantagens como baixo custo e rapidez na execução, além de redução de mão de obra comparada a outros tipos de fundações superficiais ou rasas.

Foram colocados formas de madeira nas laterais com largura de 10 cm fechando a área que foi posteriormente concretada. A área do radier foi pré-determinada no projeto e têm dimensões de 2,30m x 2,30m.



Figura A. 1 Construção dos radiers (Fonte: acervo pessoal).

Antes da concretagem o solo foi compactado com compactador de solo tipo sapo em seguida foi colocada em contato com o solo uma lona plástica, com finalidade de impermeabilizar o radier. O traço do concreto usado foi de acordo com o projeto o qual orientou que fosse de 1:4 (aglomerante e agregado miúdo, respectivamente). A armação do radier foi feita usando tela de aço CA60 diâmetro de 4,2 mm e espaçamento de 15 x 15 cm.

O concreto foi feito no local da obra, a mistura dos materiais usados foi feito com uma betoneira com capacidade de 120 litros, o transporte do concreto até o local da construção foi feito com carrinho de mão com chassi e caçamba metálicos.

A água é indispensável para o processo de maturação do concreto. Devido à exposição do concreto fresco ao sol e ao vento pode ocasionar muito rapidamente perda de água da mistura por evaporação, antes que tenha endurecido ocasionando menor resistência. Para evitar este problema fizeram a cura do concreto, molhando-o

frequentemente por um período de 12 horas e cobrindo com sacos de cimentos umedecidos.



Figura A.2. Cura do concreto com auxílio de sacos de cimento molhados garantindo que a água seja abundante para a total reação do cimento (Fonte: acervo pessoal).

EXECUÇÃO DA ALVENARIA

Logo após a cura do concreto foi finalizado o gabarito, posicionando a alvenaria de acordo com o projeto. A alvenaria foi construída com blocos cerâmicos de 19 x 14 x 9 cm, com 6 furos.

A argamassa de assentamento dos blocos cerâmicos foi feita no traço 1:4. Esta argamassa também foi feita na obra e transportada com carrinho de mão.

Os blocos cerâmicos foram assentados na menor dimensão e conforme foi levantando as paredes verificou-se o alinhamento vertical, através do prumo, e o alinhamento horizontal, através do escantilhão, usado de 3 a 4 fiadas em toda a extensão da parede. Manteve-se juntas verticais e horizontais de 1cm de espessura, pois juntas com

espessuras menor que 1cm ou maior que 1,5 cm podem prejudicar a resistência da alvenaria.



Figura A. 3. Levantamento da alvenaria com blocos cerâmicos de 19 x 14 x 9 cm (Fonte: acervo pessoal).

Os portais foram instalados antes do revestimento e logo depois da finalização da alvenaria.

REVESTIMENTO

Logo após o término da etapa de levantamento da alvenaria iniciou-se a fase de revestimento. O revestimento utilizado nas paredes foi o revestimento argamassado que consiste em multicamadas capaz de recobrir a superfície de alvenaria e ao mesmo tempo criar um substrato adequado para receber o acabamento final.

Primeiramente foi feito o chapisco no método convencional com argamassa no traço de 1:4, aplicado com colher de pedreiro na espessura de 5mm. A Cura do chapisco foi concluída 2 dias depois de sua aplicação. Em seguida foi feito a segunda camada do revestimento, chamada de emboço. O emboço foi feito usando a mesma argamassa do chapisco e foi aplicada usando colher de pedreiro e desempenadeira de madeira para garantir o alinhamento. Esta camada tem a finalidade de corrigir irregularidades no alinhamento da alvenaria, por isso tem espessura maior, atingindo 2 cm nas paredes internas e 3 cm nas paredes externas das células testes. A cura desta etapa se deu 2 dias após o término da mesma.

O revestimento preparou as paredes para receber o acabamento final, buscou-se manter o maior alinhamento possível no momento do assentamento para evitar desperdícios com argamassa, uma vez que, mal alinhada deveria ser corrigida nessa etapa.



Figura A. 4. Paredes das células testes revestidas com argamassa no traço 1:4 (Fonte: acervo pessoal).

MONTAGEM DOS TELHADOS

A montagem dos telhados ocorreu logo após o revestimento. Foram montados 2 tipos de telhados diferentes, onde cada célula teste portava uma telha. As telhas usadas

foram: Telha Ecológica Tetra Pak sem Manta Térmica Ecopex (2,20 x 0,95, com 6 mm de espessura) e Telha de Fibrocimento Ondulada Eternit (1,53 x 1,10 m, com 6 mm de espessura).

Começou-se montando as telhas de fibrocimento e Ecológica, por serem mais fáceis de serem instaladas. Primeiramente foi colocado dois Caibros (5 cm x 5 cm x 1,30m), na parte mais baixa e mais alta da extremidade superior das células testes, estes servem para receber os parafusos (Sextavado, autoroscável com arruelas de borracha, 10 cm) que fixaram as telhas ao telhado com parafusadeira de madeira e estrutura metálica. As telhas foram fixadas no sentido da declividade, para escoar águas pluviais. Esse mesmo procedimento foi feito na célula teste com telha ecológica.



Figura A. 5. Montagem da telha de fibrocimento fixada aos caibros com parafusos sextavados de 10 cm. (Fonte: acervo pessoal).

EXECUÇÃO DOS ELETRODUTOS

Os eletrodutos foram passados quando as paredes já estavam revestidas. Para a passagem dos eletrodutos dentro das paredes utilizou-se uma máquina de cortar paredes de 1500 W com disco de 5" (125mm), para abrir o caminho onde os eletrodutos foram instalados. Usou-se eletrodutos do tipo corrugado de 3/4" e cor amarela, conectando cada célula teste a central de processamento, onde abriga os equipamentos que controlam os sensores. Já para a instalação dos eletrodutos subterrâneos foi cavado valas com profundidade de 0,1 m, para a passagem dos mesmos e depois cobertos com o mesmo solo.

Depois que os eletrodutos foram postos nos seus devidos lugares revestiu-se as aberturas com argamassa no traço 1:4.



Figura A. 6. Instalação de eletrodutos subterrâneo (Fonte: acervo pessoal).

ACABAMENTO

Como não houve assentamento de cerâmicas a etapa de acabamento das células testes foi apenas a pintura das paredes, instalação das portas e maçanetas e aplicação de brita nas proximidades do terreno.

A tinta usada para a pintura das paredes das células teste foi Leinertex Cor menta, aplicada com rolo de pintura. Nas paredes externas foi feita textura do tipo rústica e nas paredes internas textura lisa, ambas utilizando a mesma tinta.

As portas foram compradas no tamanho comum de (0,60 x 2,10m) e cortadas no tamanho de 0,60 x 0,80 m, foi instalado maçanetas do tipo alavanca e fechaduras.



Figura A. 7. Pintura completa usando tinta Leinertex de cor menta (Fonte: acervo pessoal).

CABEAMENTO

Os cabos e fios foram instalados depois que a obra estava praticamente concluída. Os fios usados foram fios de bitola fina isolados em PFA para Termopar e Cabos de rede 4P CAT.5. Para auxiliar a passagem do cabeamento, foi utilizado um “passa fio” no tamanho de 20 m e vaselina para diminuir o atrito entre os cabos e as paredes internos dos eletrodutos. Em cada célula teste foi passado 3 cabos de rede para conectar sensores no centro das mesmas e dois outros sensores nas superfícies internas e externas de cada célula teste, todos os fios interligados a central de monitoramento.