

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CÂMPUS
FRANCISCO BELTRÃO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

Edinei De Freitas Vieira

**CONFORTO TÉRMICO COM USO DE PARTÍCULAS DE VIDRO
INCORPORADO A TINTA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO
2019

Edinei De Freitas Vieira

**CONFORTO TÉRMICO COM USO DE PARTÍCULAS DE VIDRO INCORPORADO
A TINTA**

Projeto referente ao Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da UTFPR, Câmpus Francisco Beltrão.

Orientador: Prof^o MSc Wagner da Silveira

FRANCISCO BELTRAO
2019

TERMO DE APROVAÇÃO**Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2****Conforto Térmico com uso de Partículas de Vidro Incorporado a Tinta**

por

Edinei de Freitas Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 09:30 horas, do dia 28 de novembro de 2019, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Banca Avaliadora:

Profº. MSc. Wagner da Silveira
(Presidente da Banca)

Profª. Drª. Naimara Vieira do Prado
(Membro da Banca)

**Profª. MSc. Cleila Cristina Navarini
Valdameri**
(Membro da Banca)

Profª. Drª. Denise Andréia Szymczak
(Professora Responsável pelo TCC)

Profº. Dr. Wagner de Aguiar

(Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental)

"O Termo de Aprovação encontra-se assinado na Coordenação do Curso"

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a força necessária para seguir em frente e concluir este trabalho.

Aos meus pais por todo auxílio e paciência, e por acreditar que tudo seria possível, e toda minha família pelo amor, por me ensinar o caminho correto a ser seguido, pelo incentivo e apoio durante todos esses anos.

A minha namorada Maysa de Castro Sousa por sempre estar ao meu lado e me incentivar em todos os momentos desta caminhada.

Ao professor e orientador deste trabalho, Wagner da Silveira, e também aos professores Cleila Cristina Navarini Valdameri, Maico Chiarelotto e Naimara Vieira do Prado pela ajuda e suporte na realização deste trabalho.

*“Às vezes Deus te deixa perder o chão,
para você descobrir que pode voar”*

(Pe Fábio de Melo)

RESUMO

VIEIRA, E. F. **Conforto Térmico com uso de Partículas de Vidro Incorporado a Tinta**. 2019. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

Desde a década de 1960, muitas coisas mudaram na sociedade, comparado com os primeiros anos século XXI que estamos vivendo. O aumento populacional nos centros urbanos e o aumento na geração de resíduos sólidos contribuem na formação de gases de efeito estufa, provocando modificações no clima. Também há maior ocorrência de fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, assim sendo é necessário adaptar-se com as mudanças climatológicas. O trabalho busca contribuir com alterações causadas pelo tempo de forma positiva, comparando três tipos de protótipos, um sem pintura, um pintado com tinta e outro pintado com tinta incorporada a pó de vidro. Verificando-se a média das temperaturas e as propriedades de condução térmica de cada protótipo, afirmou-se que estatisticamente não obteve diferenças entre os protótipos pintados com tinta e tinta e pó de vidro de acordo com as condições de pintura, chapa de compensado e quantidade de pó de vidro incorporado à tinta em que foram expostas. Com a aplicabilidade do vidro também pode-se reduzir o grande acúmulo de resíduos sólidos em lixões, aterros e aterros sanitários, contribuindo ambientalmente.

Palavras-chave: meio ambiente; resíduos sólidos; reciclagem; sustentabilidade.

ABSTRACT

VIEIRA, E. F. **Thermal Comfort using Glass Particles Embedded in Ink**. 2019. 42 p. Course Completion Work (Bachelor of Environmental Engineering). Federal Technological University of Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

Since the 1960s, many things have changed in society, compared to the first 21st century that we are living in. The increase in population in urban centers and the increase in solid waste generation contribute to the formation of greenhouse gases, causing climate changes. There is also a greater occurrence of climatic phenomena such as El Niño and La Niña, so it is necessary to adapt with climatological changes. The work seeks to contribute with changes caused by time in a positive way, comparing three types of prototypes, one without painting, one painted with ink and the other painted with ink incorporated in the glass powder. When the average temperature and thermal conduction properties of each prototype were checked, it was claimed that statistically there were no differences between the prototypes painted with paint and paint and glass powder according to the conditions of painting, plywood plate and amount of glass powder embedded in the paint in which they were exposed. With the applicability of glass it can also reduce the large accumulation of solid waste in dumps, landfills and landfills, contributing environmentally.

Keywords: environment; solid waste; recycling; sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral.....	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Resíduos sólidos.....	11
3.2 Condições climáticas.....	13
3.3 Métodos de transferência de calor	18
3.3.1 Transferência de calor por condução	18
3.3.2 Transferência de calor por convecção.....	21
3.3.3 Transferência de calor por radiação	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Caracterização da área experimental	24
4.2 Caracterização da Tinta, Vidro e Protótipos.....	24
4.3 Análises Estatísticas.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5.1 Utilização do <i>Software RStudio</i>	27
5.1.1 Análises das temperaturas e da umidade relativa	27
5.2 Transferência de calor.....	30
6. CONCLUSÕES	34
7. REFERÊNCIAS.....	36
8. ANEXOS	38

1 INTRODUÇÃO

Em pleno século XXI, em nosso país muitas cidades não possuem um método para dispor os resíduos sólidos de forma correta, isso aumenta o acúmulo desses resíduos nas ruas e terrenos baldios, os quais são fontes de contaminação e degradação ambiental. Nesse contexto, os resíduos sólidos se tornam uma grande fonte de impactos ambientais negativos, pois produzem acúmulo de água parada, proliferação de vetores, e conseqüentemente impactos negativos na saúde pública com a transmissão de doenças como Dengue, Febre Amarela, Leptospirose entre outras (VIEIRA, 2001).

Uma alternativa para contribuir com a minimização destes impactos é a técnica de reciclagem de resíduos sólidos, neste caso, grande parte dos resíduos sólidos gerados que possuem potencial de reciclagem ou reaproveitamento advém de embalagens.

Segundo Landim (2016), o vidro corresponde a 4,86% no valor de produção de embalagens no Brasil e, no meio ambiente seu tempo de degradação total é indeterminado, mas pode ser totalmente reciclável e reutilizável reduzindo seus impactos ambientais, bem como agregar valor a este resíduo.

Busca-se agregar valor ao resíduo vidro, uma alternativa que pode tornar-se viável é a utilização de pó de vidro reciclado em tintas utilizadas em pinturas e assim, melhorar o conforto térmico de ambientes. De acordo com o Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), em determinadas épocas do ano, as temperaturas podem chegar a 30°C em muitas cidades do Brasil, em especial a região de Francisco Beltrão, com isso pode-se analisar o desconforto térmico provocado pelas massas de calor, a qual é sentido em residências.

Além disso, as altas temperaturas podem causar redução no metabolismo, portanto, o conforto térmico no interior das residências é alcançado pelo uso de condicionadores de ar, e como consequência, há o gasto de energia elétrica para seus funcionamentos, ou seja, quanto mais for usado, mais onerosa a fatura da energia elétrica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência do pó de vidro no conforto térmico de residências, quando incorporado em tintas, e analisar as propriedades de condução térmica nos protótipos.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar a temperatura interna dos três protótipos com a temperatura externa;
- Verificar qual protótipo apresentou uma temperatura adequada para o conforto térmico;
- Calcular a transferência de calor nas paredes dos protótipos com as fórmulas de condução de calor;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos sólidos

O crescimento populacional trouxe consigo a migração da população de zonas rurais para urbanas, devido às dificuldades de se manter no campo e o baixo desenvolvimento na produção diminuindo suas rendas, isso se torna um problema, pois, há maior consumo de produtos industrializados e o aumento da geração de resíduos sólidos, que quando dispostos em lixões e aterros contribuem na formação de gases de efeito estufa, provocando modificações no clima (GOUVEIA, 2012).

Devido ao crescimento populacional, a geração de resíduos sólidos no meio urbano aumentou, surgindo à preocupação de se destinar corretamente as grandes quantidades de resíduos sólidos, estas que podem resultar de diversas atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais e agrícolas (ABNT, 2004).

No ano de 2017 os resíduos sólidos urbanos gerados não foram totalmente destinados adequadamente, cerca de 29 milhões de toneladas de resíduos que corresponde a 40,9% foram dispostos em lixões e aterros controlados, não possuindo nenhuma medida de proteção, ocasionando danos e degradação do meio ambiente, sendo que a forma adequada para destinação destes resíduos sólidos seria a reciclagem ou aterro sanitário (ABRELPE, 2018).

Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE) (2013), uma pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), mostrou que todo material levado para lixões e aterros que poderiam ser reciclados ou reaproveitados, geram uma perda de R\$ 8 bilhões por ano. Outro aspecto afetado seria o consumo de recursos naturais, a reciclagem seria uma ótima opção para consumir menos estes recursos e contribuir na preservação do mesmo.

Buscando reduzir o consumo de recursos naturais, e visando por reciclar e reutilizar grande parte dos resíduos sólidos, temos como uma alternativa determinada na Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), que é a coleta seletiva onde acontece a segregação dos resíduos sólidos na fonte, facilitando

a coleta e destinando adequadamente cada tipo de resíduos sólidos, agregando valor ao mesmo.

Com a coleta seletiva torna-se fácil encontrarmos resíduos sólidos específicos, como o vidro, que segundo CEMPRE (2015) corresponde a 2,4% dos 31,9% de resíduos recicláveis que são coletados no Brasil, um resíduo sólido totalmente reaproveitável, seja através de reutilização ou reciclagem, possui grande valor agregado, e utilizando-o de forma adequada, impedimos que sua destinação seja inadequada.

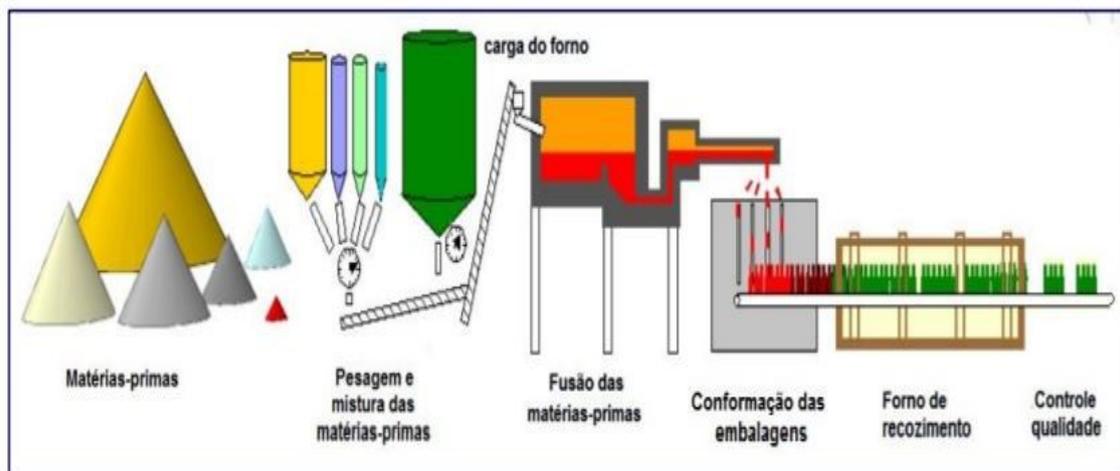
Uma forma de reutilizar o vidro seria utilizá-lo como matéria-prima incorporando-o em produtos como tintas e cimentos, o qual irá servir como um material de isolamento térmico, amenizando o desconforto térmico no interior das residências, por possuir característica de baixa condutividade térmica. O vidro considerado material cerâmico se enquadra nos materiais mais utilizados para este fim (ARCARO, 2016).

Estudos mostram a incorporação de resíduos de vidro em diversos produtos, por exemplo, o pó de vidro incorporado ao cimento, e ao cimento asfáltico, com finalidade de contribuir com a reflexão da luz solar, e reflexão da luz emitida pelos automóveis a noite (GODINHO *et al.*, 2005).

Para fabricação do vidro, temos a fundição da matéria prima composta de areia, barrilha, calcário e cacos de vidro, onde todos são fundidos a uma temperatura de aproximadamente 1600°C para facilitar a mistura e posteriormente a moldagem, e por fim é feito resfriamento (LAMDIM *et al.*, 2016).

De acordo com Akerman (2013), o processo de fabricação de embalagens de vidro é demonstrado abaixo na Figura 1:

Figura 01: Processo de fabricação de embalagens de vidro.



Fonte: (AKERMAN, 2013).

Segundo Jaime *et al.* (2009) um vidro que não é heterogêneo está isento de tensões, sendo considerado um material que possui propriedades físicas constantes independente das direções, quando aplicado uma energia térmica. Quando um feixe de luz incide sobre a superfície do vidro parte da energia é refletida fenômeno denominado por reflexão e parte da energia é absorvida o qual é denominado por refração (CASTRO, *et al.*, 2003).

3.2 Condições climáticas

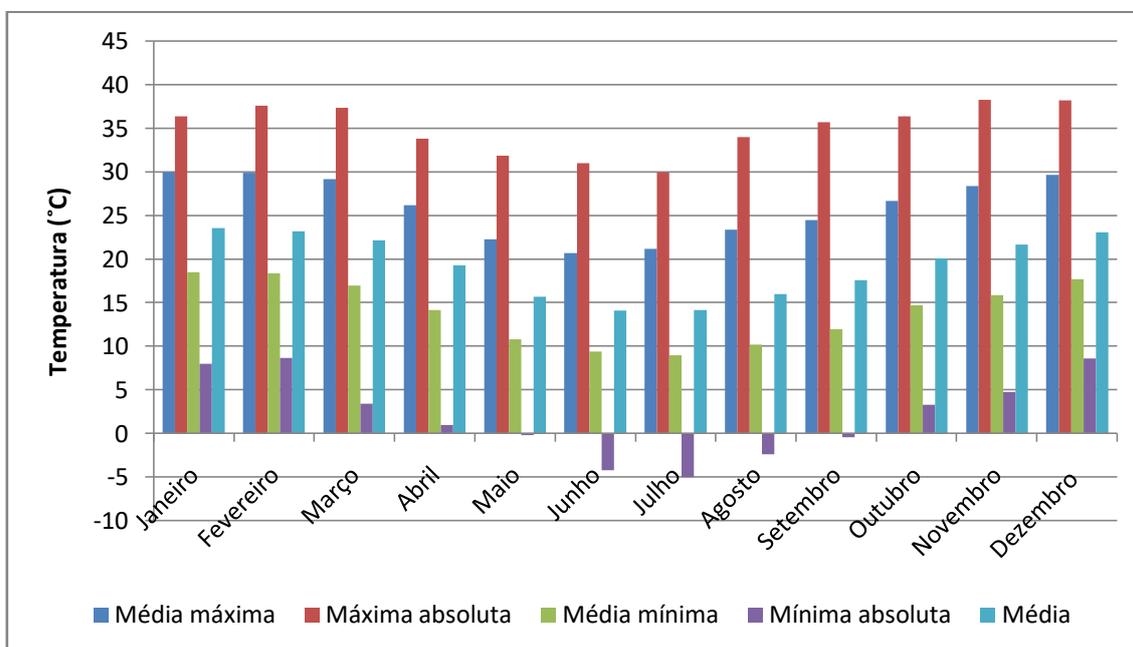
O conforto térmico no interior das residências está relacionado com a transferência de calor, logo o conforto térmico deve garantir condições favoráveis para um bom desempenho no trabalho, independente das condições climáticas externas (FROTA, 2001).

Para determinar as condições adequadas de conforto térmico, é necessário o uso adequado de materiais e formas que proporcionam as condições ideais de bem-estar térmico (GRAF, *et al.*, 2012).

Segundo Frota *et al.* (2001), a temperatura adequada considerada ótima para um ambiente de trabalho tipo escritório é de 25°C, podendo variar dois graus para mais ou para menos, considera ainda que altas temperaturas em torno de 30°C podem reduzir em até 28% o desempenho dos trabalhadores.

Segundo dados encontrados no site do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), as temperaturas médias (Figura 2) no município de Francisco Beltrão são identificadas abaixo:

Gráfico 01: Temperaturas registradas pelo IAPAR no município de Francisco Beltrão.



Fonte: (IAPAR, 2019).

A temperatura média máxima anual de acordo com os dados disponíveis é de aproximadamente 29,0 °C, com a média mínima de aproximadamente 14,0 °C e a temperatura média fica em torno de 19,2 °C.

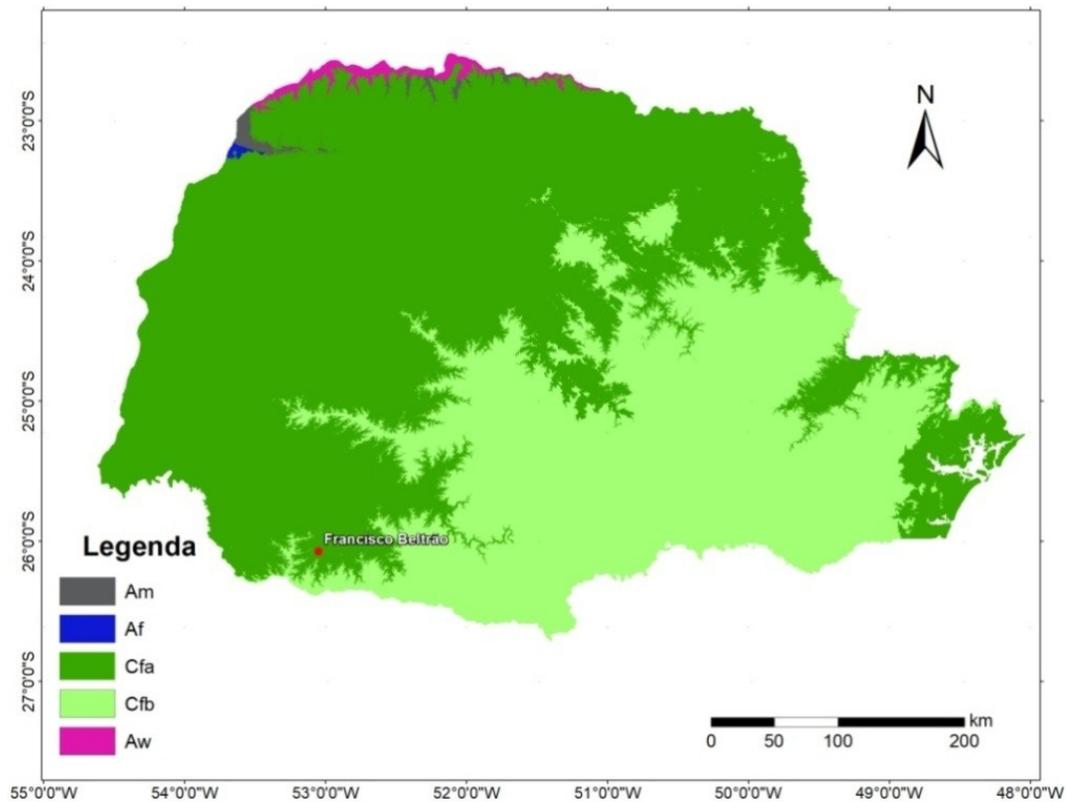
Considerando o clima subtropical no estado do Paraná, com formação de geadas no inverno, e climas quentes no verão, criam-se variáveis meteorológicas que podem influenciar diretamente no conforto humano (MORAIS, *et al.*, 2012).

A Embrapa classifica os tipos climáticos segundo Koeppen (1948), (Figura 3) a seguir seus significados:

- Cfb - Clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e freqüentes, num período médio de ocorrência de 10 a 25 dias anualmente.

- Cfa - Clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco.
- Af - Clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18°C. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, ultrapassando o total de 1.500 mm anuais. Nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro) a temperatura é de 24 a 25°C.
- Am - Clima tropical úmido ou subúmido. É uma transição entre o tipo climático Af e Aw. Caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio sempre superior a 18°C apresentando uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação.
- Aw - Clima tropical, com inverno seco. Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm.

Figura 02: Classificação climática do estado do Paraná.



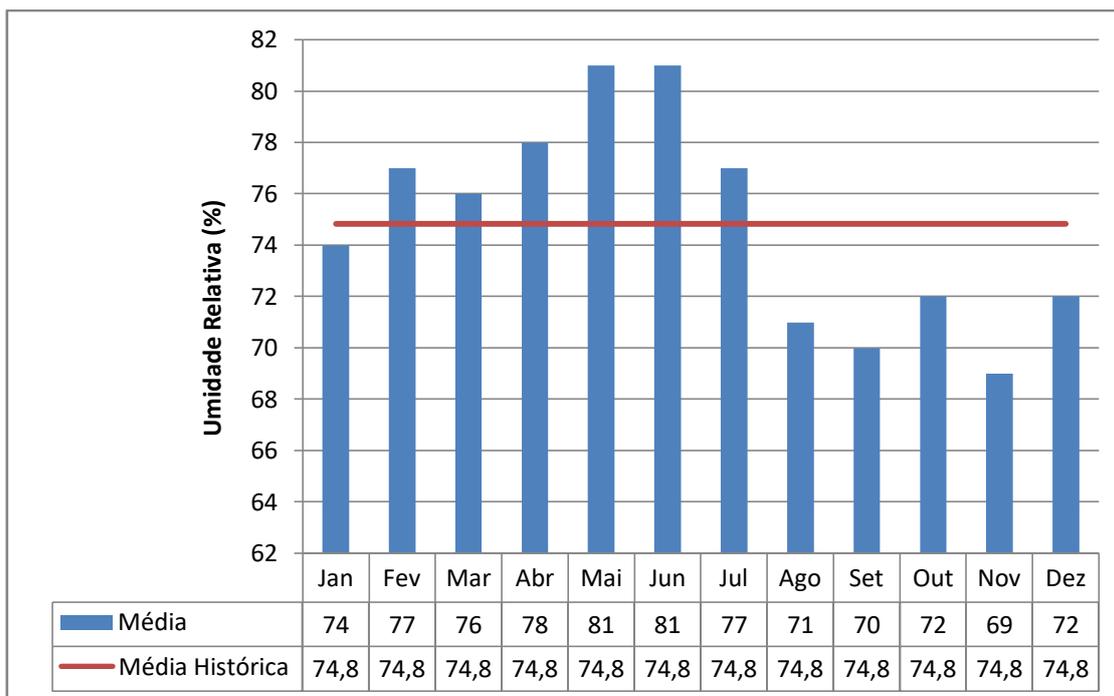
Fonte: (IAPAR, 2019)

De acordo com a Classificação de Köppen-Geiger encontrados no IAPAR (2019), a cidade de Francisco Beltrão se enquadra no clima Cfa, caracterizando uma região de clima subtropical úmido. A precipitação apresenta uma média de 2046 mm/ano, sendo outubro o mês mais chuvoso, e agosto o mês com menor índice pluviométrico.

De acordo com a classificação do clima, a umidade relativa para município de Francisco Beltrão (Figura 4) também apresenta altos índices em quase todo ano, média registrada de 74,8%.

A umidade relativa do ar expressa a quantidade de vapor d'água existente na atmosfera em dado momento em relação ao máximo de vapor d'água que poderia ser contido no ar, à temperatura ambiente (WMO, 1990). O valor da umidade relativa pode mudar pelo aumento ou diminuição do conteúdo de vapor d'água presente na atmosfera, bem como pela mudança de temperatura. É expressa em percentual (%).

Gráfico 02: Umidade relativa do município de Francisco Beltrão.



Fonte: (IAPAR, 2019)

Todos os elementos climáticos podem ser identificados na tabela abaixo, com as médias anuais referente ao município de Francisco Beltrão, disponibilizados pelo IAPAR.

Tabela 01: Elementos climáticos do município de Francisco Beltrão.

ESTACAO: FRANCISCO BELTRAO / CODIGO: 02653012 / LAT: 26.05 S / LONG: 53.04 W / ALT: 650 M PER.: 1974/2018

MES	TEMPERATURA DO AR (.c)						U.REL		VENTO		PRECIPITACAO			EVAPOR.		INSOL.
	média máxima	média mínima	máxima abs	ano	min abs	ano	média comp	média %	dir pr.	m/s	total	máxima 24h	ano	dias chuva	total mm	total horas
JAN	30,1	18,5	36,4	1991	8,0	1974	23,6	74			190,7	146,8	1980	14	79,6	220,6
FEV	29,9	18,4	37,6	2014	8,7	1991	23,2	77			170,0	131,0	1983	13	64,8	190,5
MAR	29,2	17,0	37,4	2005	3,4	1976	22,2	76			145,2	98,4	1983	11	71,1	213,2
ABR	26,2	14,2	33,8	2007	1,0	1999	19,3	78			165,1	178,0	2010	9	58,9	189,5
MAI	22,3	10,8	31,9	1981	-0,2	2007	15,7	81			188,1	176,5	2014	9	48,3	171,2
JUN	20,7	9,4	31,0	1974	-4,2	1978	14,1	81			165,0	183,6	1991	10	42,9	145,0
JUL	21,2	9,0	30,0	1994	-5,0	1975	14,2	77			132,1	137,8	1983	9	59,0	174,3
AGO	23,4	10,2	34,0	1999	-2,4	1984	16,0	71			112,1	152,0	2011	8	78,2	193,8
SET	24,5	12,0	35,7	1988	-0,4	2002	17,6	70			162,6	116,0	2014	10	81,5	182,3
OUT	26,7	14,7	36,4	2014	3,3	1982	20,1	72			257,8	113,2	1975	13	82,4	198,1
NOV	28,4	15,9	38,3	1985	4,8	1995	21,7	69			181,3	137,0	1982	11	89,9	221,9
DEZ	29,7	17,7	38,2	1985	8,6	2010	23,1	72			175,6	117,0	1994	12	86,7	219,9
ANO	26,0	14,0					19,2	74,7			2046			132	843	2320
EXT			38,3	1985	-5,0	1975						183,6	1991			

EB/

Fonte: (IAPAR, 2019).

3.3 Métodos de transferência de calor

A transferência de calor é uma energia térmica que se propaga devido à diferença de temperaturas no espaço, sempre da maior para menor temperatura. A transferência de calor ocorre de três formas: condução, convecção e radiação.

3.3.1 Transferência de calor por condução

Na transferência de calor por condução não existe movimento, seja no sólido, líquido ou gás, para propagação do calor ocorrer o meio deve estar em regime estacionário. Na condução acontecem as iterações das partículas, onde, as partículas mais energéticas transferem energia para as partículas menos energéticas (INCROPERA, 2008).

Segundo Bergman *et al.* (2015) temperaturas mais elevadas agregam maiores energias moleculares, essas energias relacionam-se com o movimento das moléculas, seja movimentos de translação aleatório, movimentos internos de rotação e de vibração.

Para definir a condutividade térmica, o cientista Francês Fourier propôs a chamada de Lei de condução de Fourier, que pode ser expressa da seguinte forma (BERGMAN, *et al.* 2015):

Para fluxo térmico:

$$q''_x = -k \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

Equação 01

Em que:

q''_x é a intensidade do fluxo de calor (W/m^2);

k é a condutividade térmica do material (W/mK);

L é a espessura da parede (m);

T_1 é a temperatura da superfície 1 (K);

T_2 é a temperatura da superfície 2 (K).

O valor para "q" também pode ser encontrado através da Equação 2:

Equação 02

$$q''_x = \frac{(T_2 - T_1)}{RT}$$

Sendo que RT é a resistência total da parede, em casos de paredes compostas de diferentes materiais, podem ser calculadas pelas fórmulas abaixo:

Para condução: $R = \frac{L}{Ak}$ Equação 03

Para convecção: $R = \frac{1}{hA}$ Equação 04

Para radiação: $R = \frac{1}{hrA}$ Equação 05

Resistência Total: $RT = \frac{L}{Ak} + \frac{1}{hA} + \frac{1}{hrA}$ Equação 06

Para calcular a taxa de calor considera-se a transferência de calor por unidade de área, então:

$$q_x = -kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$
 Equação 07

Em que:

q_x é a taxa de calor (w);

k é a condutividade térmica do material (w/mk);

A área superficial (m²);

L é a espessura da parede (m);

T 1 é a temperatura da superfície 1(k);

T 2 é a temperatura da superfície 2 (k).

A Equação 01 pode ser empregada no cálculo da transferência de calor em paredes heterogêneas, ou seja, aquelas compostas por camadas de diferentes materiais (ARAÚJO, 2004). Para isso, é necessário determinar o coeficiente global de transmissão térmica (K) que é obtido através da Equação 8, a seguir:

$$\frac{1}{K} = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n}$$

Equação 08

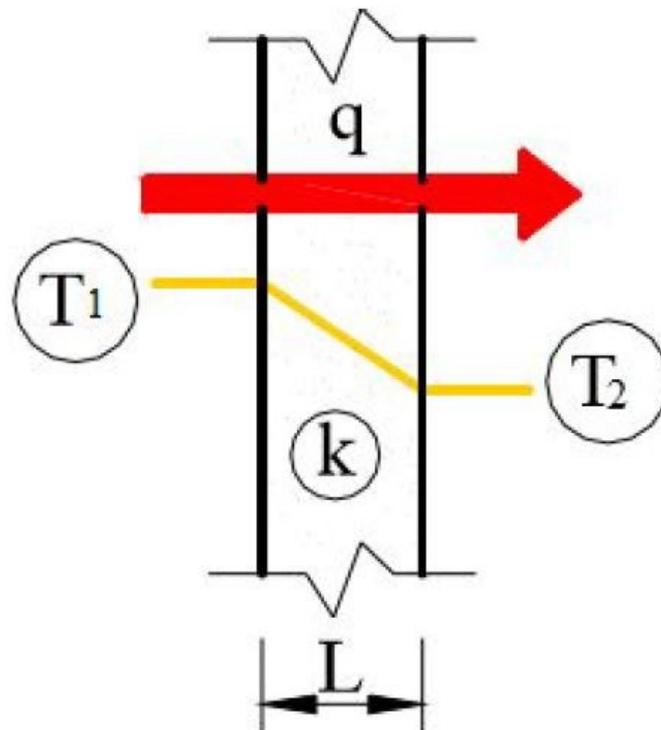
Em que:

e_n é a espessura da camada;

k_n é condutividade térmica do material.

Segundo Rodrigues (n.d.), a transferência de calor por condução pode ser exemplificada na Figura 4:

Figura 03: Transferência de calor por condução em paredes planas.



Fonte: (RODRIGUES, n.d).

3.3.2 Transferência de calor por convecção

A transferência de calor por convecção consiste na transferência de energia devido ao movimento molecular e transferência de energia através do movimento de um fluido, ocasionado por uma força externa devido à diferença de densidade, ou diferença de pressão gerada por uma bomba (KREITH, 2003).

Segundo Bergman *et al.* (2015) esse movimento do fluido seria a movimentação coletiva de um grande número de moléculas, onde, este movimento na presença de temperaturas diferentes contribui na transferência de calor. Quanto maior for o movimento, maior será a transferência de calor por convecção (ÇENGEL, 2012).

Segundo Çengel (2012), se o fluido é forçado a fluir sobre a superfície por meios externos como ventilador, bomba ou vento, denomina-se convecção forçada. Se o movimento do fluido é causado por forças de flutuação induzidas por diferenças de densidade, denomina-se convecção natural.

Independente do gênero de transferência de calor por convecção, a Lei do resfriamento de Newton é a forma adequada para calcular o fluxo e a taxa de calor, que pode ser determinada da seguinte maneira:

Para fluxo de calor:

$$q''_{conv} = h(T_s - T_\infty)$$

Equação 09

Em que:

q''_{conv} é fluxo de calor por convecção (w/m^2);

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (w/m^2k);

T_s é temperatura das superfícies (k);

T_∞ é a temperatura do fluido (k).

Para calcular a taxa de calor por convecção, temos:

$$q_{conv} = hA(T_s - T_\infty)$$

Equação 10

Em que:

q_{conv} é a taxa de calor por convecção (w/m^2);

h é o coeficiente de transferência de calor por convecção (w/m^2k);

A área (m^2)

T_s é temperatura da superfície (k);

T_{∞} é a temperatura do fluido (k).

O sentido do fluxo de calor pode ser determinado através do sinal positivo ou negativo, se:

➤ $T_s > T_{\infty}$ positivo

➤ $T_{\infty} > T_s$ negativo

A transferência de calor sendo positiva acontece de fora para dentro de uma residência, sendo negativo acontece de dentro para fora.

3.3.3 Transferência de calor por radiação

A transferência de calor por radiação se diferencia dos outros métodos de transferência de calor, pois o processo ocorre por meio de ondas eletromagnéticas e não necessita de um meio para transportá-lo, propagando-se em todas as direções, e inclusive no vácuo (DIAS, 2009).

Segundo Coelho (2016) a emissão de energia ocorre além das ondas eletromagnéticas, constituído por parte do espectro eletromagnético, como também por meio da emissão de fótons que é absorvida pela vizinhança, denominando-se radiação térmica.

A emissão pode se originar de qualquer superfície, sendo que a mesma não se encontra em uma temperatura nula, com isso, conceituamos o poder emissivo adotado para quantificar a taxa pela qual a radiação de comprimento de onda λ é emitida de uma superfície (MORAN *et al*; 2012).

Segundo Incropera (2008), a lei “*Stefan-Boltzmann*” que governa a transferência de calor por radiação, é determinada da seguinte forma:

Para calcular o fluxo de calor:

$$q''_{rad} = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{viz}^4)$$

Equação 11

Em que:

q''_{rad} é o fluxo radiativo (w).

ϵ emissividade;

σ constante de *Stefan-Boltzmann* ($5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{k}^4$);

T_s é a temperatura de uma superfície isotérmica (k);

T_{viz} é a temperatura da vizinhança (k).

Para calcular a taxa convectiva, temos:

$$q_{rad} = \epsilon A \sigma (T_s^4 - T_{viz}^4)$$

Equação 12

Em que:

q_{rad} é a taxa convectiva (w/m^2);

ϵ emissividade;

σ constante de *Stefan-Boltzmann* ($5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{k}^4$);

A área (m^2);

T_s é a temperatura de uma superfície isotérmica (k);

T_{viz} é a temperatura da vizinhança (k).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

Para realização dos testes e experimentos utilizou-se o laboratório de solos e da área externa (Figura 19) para exposição dos protótipos ao sol na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Francisco Beltrão - UTFPR-FB.

Figura 04: Localização da realização dos experimentos.



Fonte: (Google Earth, 2019).

4.2 Caracterização da Tinta, Vidro e Protótipos

Para realização dos testes foi adotado um padrão para a tinta, optou-se pela escolha da tinta de cor clara para pintura de ambientes externos. Segundo dados de Braida (2014), a cor mais indicado seria os tons “*off White*”, considerado um branco gelo.

Os vidros escolhidos para realização dos estudos foram vidros transparentes utilizados como embalagens de alimentos e bebidas, coletadas na cidade de Francisco Beltrão em estabelecimentos comerciais, por possuírem grandes quantidades destas embalagens que após terem sido utilizados, eram destinados a coleta municipal e posteriormente o aterro municipal.

As embalagens de vidro foram acondicionadas dentro de um saco e quebradas com martelo, depois colocou-se os pedaços pequenos em uma máquina de moer café manual (Figura 16), transformando o vidro em pó, repetiu-se o processo por três vezes.

Na realização da pintura para verificar a quantidade de pó de vidro a ser adicionado na tinta, evitando que a tinta ficasse imprópria ou muito densa para realizar a pintura, realizou-se testes, assim, com ajuda de uma balança analítica pesou-se quantidades de tinta e pó de vidro, foi feito as homogeneizações das porções e pintou-se uma placa de compensado para teste, a quantidade escolhida de pó de vidro foi uma porcentagem de 50% da quantidade de tinta, em um quilo de tinta incorporaram-se quinhentos gramas de pó de vidro.

Foram realizadas pinturas em dois protótipos de chapas de compensados com cobertura de folha de fibrocimento, um protótipo pintado com tinta e outro pintado com a tinta incorporado o pó de vidro, além disso, há existência de outro protótipo escolhido como tratamento controle, não exposto as condições de pintura.

Os três protótipos foram expostos ao sol em local aberto, com distâncias de dois metros um do outro (Figura 6), posicionados com uma face para o norte geográfico de modo que a sombra de um protótipo não interferisse nas temperaturas vizinhas, assim, nesta posição pode-se aproveitar maior incidência de raios solares durante todo o dia, visto que nos localizamos no hemisfério sul.

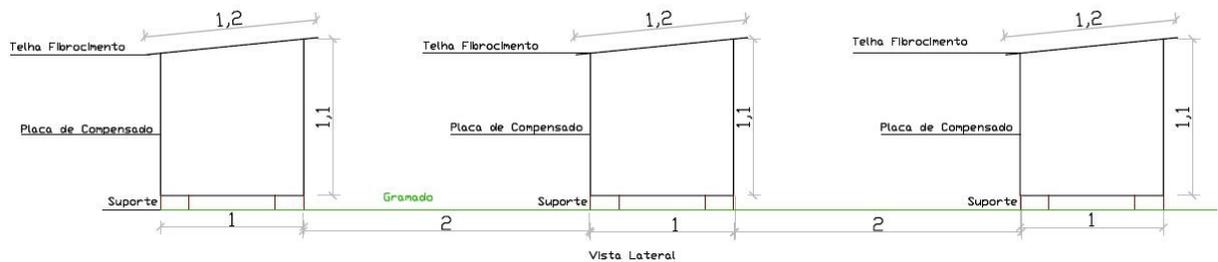
Com auxílio de um termo-higrômetro construído por discentes da universidade, instrumento que mede a umidade e a temperatura de um ambiente, armazenando os valores alcançados num intervalo de 10 em 10 minutos. Foram realizadas as medições internamente dos protótipos, coletando-se temperaturas durante cinco dias ininterruptamente nas estações de inverno, outono e primavera.

A temperatura externa, essa registrada e coletada pela estação pluviométrica localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, o qual foi disponibilizado os dados para realização do experimento.

Com as temperaturas verificadas, dividiu-se em períodos: manhã, tarde e noite, onde se realizou a média da variação da temperatura em cada protótipo durante cada medição e também verificou-se a porcentagem da umidade relativa.

Para calcular a transferência de calor na parede, utilizou-se das fórmulas dispostas, onde foi possível obter os índices de transferência de calor em cada protótipo e compará-los entre si.

Figura 05: Corte lateral dos protótipos construídos.



Fonte: (Autor, 2019).

4.3 Análises Estatísticas

Para realizar análise de variância utilizou-se o *Software RStudio*, uma linguagem estatística de código aberto, sendo possível analisar e entender os dados, comparando quatro tratamentos:

- Controle: temperaturas do protótipo sem pintura;
- Tinta: temperaturas do protótipo pintado com tinta;
- Tinta_pó_vidro: temperaturas do protótipo pintado com tinta incorporado o pó de vidro; e
- Temperatura externa dos protótipos.

Com isso foi possível obter a média, desvio padrão de cada protótipo nos períodos e dias determinados, além disso, foi determinado se os dados possuem variabilidade, distribuição normal, normalidade e variância de dados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Utilização do *Software RStudio*

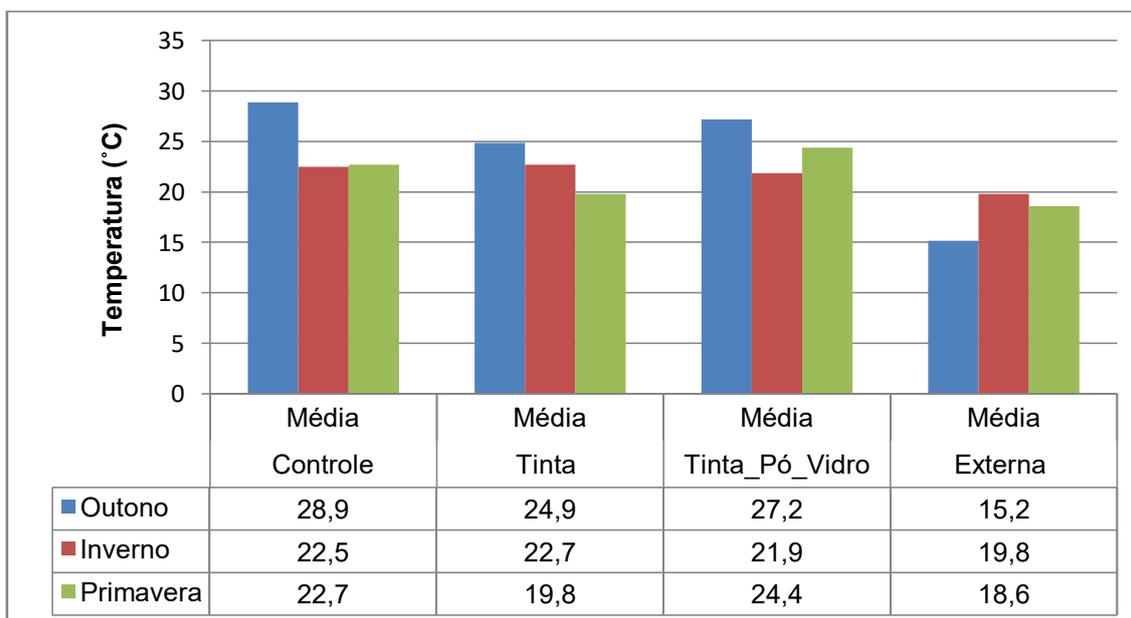
O software profissional *RStudio*, combina análise de dados robusta e reproduzível com ferramentas para compartilhar efetivamente produtos de dados.

Para expressar os valores, dividiu-se em períodos compreendidos em manhã (06h01min às 12h00min), tarde (12h01min às 18h00min) e noite (18h01min às 06h00min) realizou-se as médias de todas as temperaturas registradas.

5.1.1 Análises das temperaturas e da umidade relativa

As médias das temperaturas são identificadas nas tabelas abaixo:

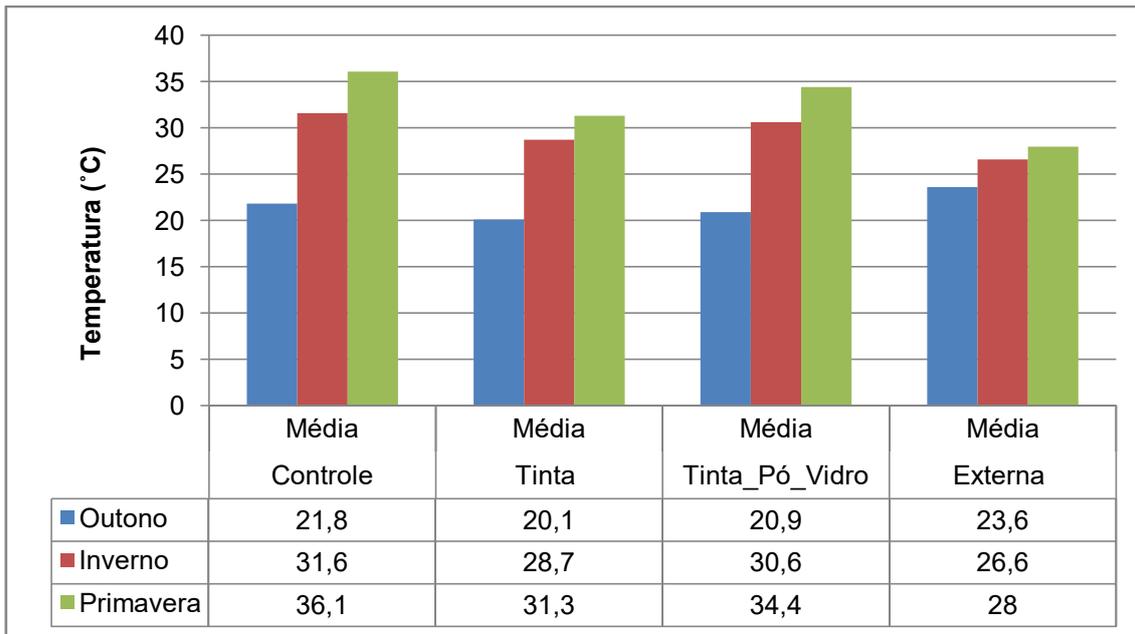
Gráfico 04: Média das temperaturas em (°C) registradas no período da manhã.



Fonte: (Autor, 2019).

De acordo com a Gráfico 1, quando comparado os três protótipos com a temperatura externa, estatisticamente de acordo com os dados apresentados pelo software *RStudio* os dados das temperaturas dos protótipos são iguais entre si e se diferenciam da temperatura externa.

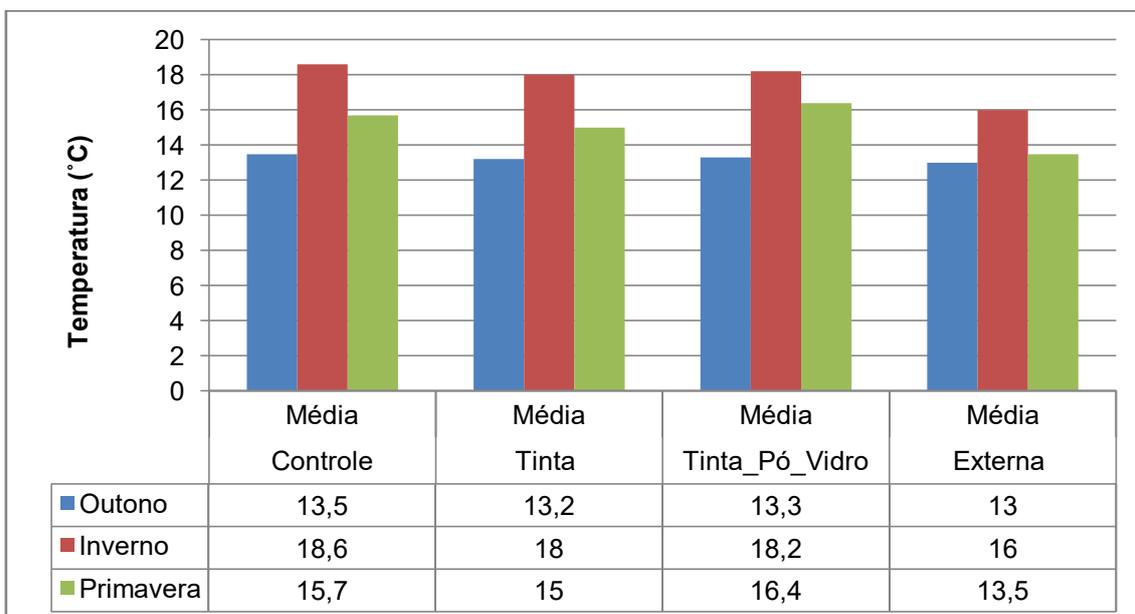
Gráfico 03: Média das temperaturas em (°C) registradas no período da tarde.



Fonte: (Autor, 2019).

Para o período da tarde os protótipos recebiam a maior incidência solar, e quando comparados estatisticamente novamente a média das temperaturas, a temperatura externa se diferencia da temperatura dos protótipos que são consideradas semelhantes.

Gráfico 05: Média das temperaturas em (°C) registradas no período da noite.



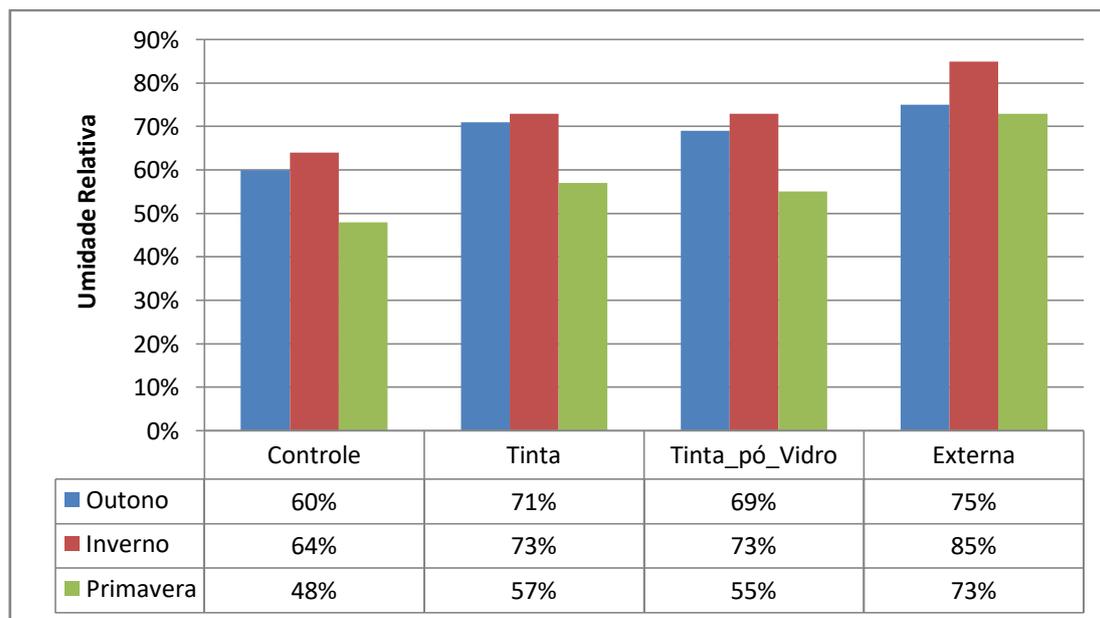
Fonte: (Autor, 2019).

Segundo Araújo (2004) no período noturno a trocar de calor é maior entre ambientes externos e internos, pois não há incidência de raios solares.

Segundo a análise de dados no período da noite os dados se assemelham ainda mais, isso é provado pela análise estatística realizada, o qual mostra que as temperaturas médias dos protótipos são semelhantes e se diferem da temperatura média externa.

Quando verificado a média da umidade relativa, a relação das médias se aproxima dos índices registrados pelo IAPAR, apresentando altos índices de umidade relativa, o qual é demonstrado no gráfico abaixo:

Gráfico 06: Análise comparativa da umidade relativa dos protótipos e externa.



Fonte: (Autor, 2019).

Considerando os dados registrados pelo IAPAR, o nível de precipitação maior é expresso na estação de inverno, onde se verificou maiores índices de umidade. Comparado com outros estudos quando temos uma queda na temperatura, as partículas de vapor d'água tendem a se aproximar e elevar a umidade relativa presente no ar (ARAÚJO, 2004).

Considerando o clima da região, os altos índices de umidade e precipitação se assemelham as características locais.

Tabela 02: Análises dos tratamentos de acordo com a média de temperatura.

Tratamento	Médias
Controle	a 23,5
Tinta e Pó de Vidro	a 23,0
Tinta	ab 21,3
Externa	b 19,4

Fonte: (Autor, 2019).

As letras iguais representam médias estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

Com a realização do teste de Tukey utilizando-se do Software RStudio as médias das temperaturas dos tratamentos controle, Tinta, Tinta e pó de Vidro são considerados iguais, se diferenciando da média da temperatura externa.

Tabela 03: Análise das estações pelo teste de Tukey.

Tratamento	Médias
Primavera	a 23,0
Inverno	a 22,8
Outono	b 19,7

Fonte: (Autor, 2019).

Quando comparado as três estações em que foram realizados as medições, a estação da primavera e inverno consideraram-se iguais se diferenciando da estação do outono.

5.2 Transferência de calor

Segundo pesquisas realizadas, determinaram-se valores aproximados para o coeficiente de transferência de calor dos materiais compostos na parede dos protótipos, também se determinou a espessura de cada camada, os quais são descritos abaixo:

Tabela 04: Propriedades térmicas dos materiais.

Materiais	Condutividade térmica k (W/m²°C)	Espessura e (m)
Compensado	0,12	0,004
Vidro	0,8	0,000045
Tinta	0,2	0,000030

Fonte: (Autor, 2019).

Para encontrar o valor da intensidade de fluxo de calor (q), calculou-se primeiramente, a resistência térmica da parede (RT) com a Equação 6 aplicou-se o método apresentado pela NBR 15220 - 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.

Considerou-se a existência de três seções, com diferentes combinações de materiais, sendo: vidro, tinta, compensado e suas determinadas espessuras, além disso, considerou-se o fluido de ar escoando externamente.

Desta forma, com auxílio das Equações 3, 4 e 6 determinou-se a resistência total (RT) das paredes dos protótipos apresentada na tabela abaixo:

Tabela 05: Resistências totais das paredes dos protótipos.

Protótipos	Resistência Total (°C/W)
Tinta e pó de vidro	47,85
Tinta	46,6
Controle	41,6

Fonte: (Autor, 2019).

A madeira possui natureza porosa proporcionando uma baixa condução térmica, isto faz com que as construções de madeira ou produtos derivados da madeira, como painéis, sejam objetos valiosos para estudos e discussões sobre suas outras qualidades (ALMEIDA, 2013).

A espessura das paredes determinou a sua resistência, paredes mais espessas apresentam maiores resistência para a condutividade do calor.

Determinou-se a intensidade de fluxo de calor (q) com auxílio da Equação 2.

Tabela 06: Intensidades do fluxo de calor (q) para período da manhã.

	Controle	Tinta	Tinta e Pó Vidro
	q	q	q
Outono	-0,33	-0,21	-0,25
Inverno	-0,06	-0,06	-0,04
Primavera	-0,10	-0,02	-0,12

Fonte: (Autor, 2019)

No período da manhã os protótipos começam a receber a influência dos raios solares, tendo aumento da temperatura externa e início no processo de condução de calor na parede dos protótipos.

Tabela 07: Intensidades do fluxo de calor (q) para período da Tarde.

	Controle	Tinta	Tinta e Pó Vidro
	q	q	q
Outono	0,04	0,07	0,05
Inverno	-0,12	-0,04	-0,08
Primavera	-0,19	-0,07	-0,13

Fonte: (Autor, 2019).

Tabela 08: Intensidades do fluxo de calor (q) para período da noite.

	Controle	Tinta	Tinta e Pó Vidro
	q	q	q
Outono	-0,01	-0,004	-0,01
Inverno	-0,06	-0,04	-0,05
Primavera	-0,05	-0,03	-0,06

Fonte: (Autor, 2019).

Para o período da noite a condução de calor era baixa, devido à inexistência de raios solares, sendo que a média das temperaturas dos ambientes internos dos protótipos se igualava a média da temperatura externa.

A transferência de calor pode ser explicada através do sinal, valores positivos indicam que o sentido do fluxo de calor está de fora para dentro do protótipo, mostrando que está sendo esquentado no interior dos protótipos, valores negativos o fluxo de calor está de dentro dos protótipos para fora, indicando que está sendo resfriado dentro dos protótipos.

Pode-se notar que o fluxo de calor praticamente em todas as estações e nos três tratamentos, encontra-se negativo, isso mostra, que o sentido do fluxo de calor está de dentro dos protótipos para fora, assim, na maioria das vezes a transferência de calor adotou sentido do interior para exterior dos protótipos.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido com intuito de comparar diferentes condições e materiais facilmente encontrados, buscando soluções de baixo custo para se obter o conforto térmico, abrangendo uma maior parcela da população, dando condições para os mais carentes.

Quando comparado os resultados com a utilização do *Software RStudio* sobre as condições onde foram pintados os protótipos com tinta e tinta incorporados o pó de vidro, não obtiveram diferenças estatisticamente, os três protótipos são considerados iguais se diferenciando da temperatura externa.

As condições em que os tratamentos foram submetidos para teste à espessura das paredes, quantidade de demãos de pintura ou as condições climáticas da região podem ter interferido nos testes, proporcionando condições parecidas entre os tratamentos.

Com isso se torna importante a utilização de mais variabilidade nos estudos, diferentes espessuras na parede, diferentes tipos de vidro, demãos de pintura, paredes mais espessas tendem a possuir maior resistência térmica e menor é a quantidade de calor que é transmitido do ambiente externo para o interno de uma habitação.

Observa-se que o tipo de transmissão de calor que contribui de forma relevante para o aquecimento do interior das edificações é a condução, pois a convecção é somente influenciada por uma constante que é igual para as paredes verticais e a transferência de calor por radiação depende da emissividade das superfícies, que possui valores muito semelhantes no caso dos materiais utilizados na construção civil.

Considerando isso, a condução deve ser o foco quando se tem o objetivo de reduzir a quantidade de calor transmitido do ambiente externo para o interno. O ideal seria a realização de outros estudos com mais tratamentos, verificando qual tratamento se comporta melhor para proporcionar um melhor conforto térmico, como por exemplo, usar diferentes granulometrias do pó de vidro, diferentes demãos de pintura e utilizar compensado com espessuras variadas.

A utilização do vidro incorporado à tinta contribui com o meio ambiente, pois, reduz a quantidade de resíduos sólidos nos aterros e aterros sanitários, além de contribuir na conservação dos ambientes, visto que o protótipo pintado com a tinta incorporado o pó de vidro não se deteriorou como as demais, devido às condições climáticas.

7. REFERÊNCIAS

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: Ed. Especial 15 anos, 2018.

AKERMAN, M. **Introdução ao vidro e sua produção**. Escola do vidro, 2013.

ALMEIDA, J. A. P. L de. **Análise do comportamento térmico de paredes de madeira**. Itapeva-São Paulo, 2013.

ARAÚJO, R. C. **Estudo comparativo entre painéis verticais compostos por EPS e tijolo cerâmico de oito furos como isolantes térmicos para a região de Cuiabá-MT**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá: 2004.

ARCARO, S. *et al.* **Isolantes térmicos produzidos a partir de resíduos sólidos industriais**. Santa Catarina: Cerâmica, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Resíduos sólidos – classificação**: NBR-10004, 63p. Rio de Janeiro: 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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. NBR 15220. Rio de Janeiro: 2003. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte2_SET2004.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2019.

BERGMAN, T. L. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

BRAIDA, F. *et al.* **A produção de maquetes para ensaios em laboratório de conforto ambiental na UFJF**. Maceió: ENTAC, 2014.

CASTRO, A. G. *et al.* **Embalagens para a indústria alimentar**. Lisboa: Ciência e técnica, 2003.

ÇENGEL, Y. A. *et al.* **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CEMPRE, **Review 2013**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>> acesso dia 15 de nov de 2019.

CEMPRE, **Review 2015**. Disponível em: < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>> acesso dia 15 de nov de 2019.

COELHO, J. C. M. **Energia e fluidos, transferência de calor**. Vol 3. São Paulo: Blucher, 2016.

DIAS, L. R.S. **Operações que envolvem transferência de calor e de massa**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

EMBRAPA, **Clima**. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>>
Acesso dia: 13 de Nov de 2019.

FROTA, A. B. *et al.* **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo / 5. ed.** São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GODINHO, K. O. *et al.* **Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados.** Rio de Janeiro: Cerâmica 51, 419-427, 2005.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** São Paulo: Ciência & Saúde Coletiva, 2012.

GRAF, H. F. *et al.* **Conforto térmico para a cidade de Curitiba: faixa de temperaturas de conforto adaptativo.** Juiz de Fora: ENTAC, 2012.

INCROPERA, F. P. *et al.* **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JAIME, S. B. M. *et al.* **Embalagens de vidro para alimentos e bebidas.** Campinas – São Paulo: CETEA/ITAL, 2009.

KREITH, F. **Princípios de transferência de calor.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

LANDIM, A. P. M. *et al.* **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil.** Polímeros, 26 (número especial), Rio de Janeiro: 2016.

MORAIS, H. *et al.* **Conforto térmico humano no estado do Paraná.** REVISTA GEONORTE, Edição Especial 2, V.2, N.5, p. 271 – 278, 2012.

MORAN, M. J. *et al.* **Introdução a engenharia de sistemas térmicos: termodinâmica, Mecânica dos fluidos e transferência de calor.** Rio de Janeiro: LTC, 2012.

RODRIGUES, E. **Processos de Transmissão de Calor.** Disponível em:
<http://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf>
acesso dia 15 nov de 2019.

SIMEPAR, **Boletim Climatológico.** Disponível em:
<http://www.simepar.br/prognozweb/simepar/timeline/boletim_climatologico> acesso dia 15 de Nov de 2019.

VIEIRA, S.M.M. **Relatório dos bancos de dados de resíduos sólidos e efluentes líquidos.** 2. ed. São Paulo: CETESB. 102 p, 2001.

SNEYERS, R. **On The Statistical Analysis Of Series Of Observations.** Geneva – Switzerland: WMO, 1990.

8. ANEXOS

Figura 06: Escolha do vidro para realização do experimento.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 07: Início da trituração do vidro.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 08: Corte das chapas de compensados para construção dos protótipos.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 09: Início da construção dos protótipos.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 10: Primeiro protótipo construído.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 11: Início da moção do vidro, transformando em micro partículas.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 12: micro partículas de vidro utilizado na pintura.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 13: Aplicação da primeira demão de pintura.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 14: exposição dos protótipos ao sol.



Fonte: (Autor, 2019).

Figura 15: ajuste da posição geográfica das faces dos protótipos.



Fonte: (Autor, 2019).