

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

ESTEFÂNIA COSTA VIEIRA

**ESTUDOS EXPLORATÓRIOS SOBRE PROPRIEDADES
TÉRMICAS DO COMPÓSITO CIMENTO-POLPA
CELULÓSICA (CPC).**

Itapeva – SP

2013

ESTEFÂNIA COSTA VIEIRA

**ESTUDOS EXPLORATÓRIOS SOBRE PROPRIEDADE TÉRMICAS DO
COMPÓSITO CIMENTO-POLPA CELULÓSICA (CPC).**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira

Orientador: Prof^a. Dr^a. Juliana Cortez Barbosa

Itapeva - SP
2013

Vieira, Estefânia Costa

V658e Estudos exploratórios sobre propriedades térmicas do compósito cimento- polpa celulósica (CPC) / Estefânia Costa Vieira. – – Itapeva, SP, 2013

38 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Itapeva, 2013

Orientador: Prof^a. Dr^a. Juliana Cortez Barbosa

Banca examinadora: Prof. Dr. Gustavo Ventrone, Prof^a. Dr^a. Maristela Gava

Bibliografia

1. Cimento. 2. Materiais compostos. 3. Resíduos industriais. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 620.112

Dedico este trabalho aos meus pais, Bernadete e Manoel, os quais me apoiaram em cada decisão tomada e me amaram tanto em cada momento da minha vida.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à Deus por ter me dado a oportunidade de estar viva e por me abençoar a cada passo da minha trajetória. À minha mãe, Bernadete, que não me abandonou em nenhum momento em minha caminhada rumo à graduação, sempre sábia e amorosa e com quem sei que posso contar sempre. Ao meu pai, Manoel, por sempre estar disponível quando precisei conversar ou apenas me distrair e por todo seu amor. Ao meu irmão, Guilherme, por ser simplesmente meu irmão; a quem eu tanto amo e o único que pode me chamar de Tefaninha.

À minha Diguinha, *in memoriam*, que fez tanto por mim durante seu tempo no mundo. Agradeço, também, à toda torcida da minha família por mim durante todos estes anos, em especial às tias Maria, Ida e Jura e à minha avó Dayse.

Aos amigos que fiz durante toda a graduação, que me deram força e alegria para poder concluir essa jornada: Pedro, Keli, Letícia, Mira, Sueli e tantos outros.

Ao Paulo, por ter estado comigo durante os momentos mais complicados e ter me ajudado com toda sua calma e amor.

À todos meus companheiros de trabalho, especialmente Carol e Silvia, por toda a alegria que me trazem diariamente e à sua amizade.

Ao Diego, Jéssica, Sr. Ari e todos os funcionários da RECENA Resinas, por terem sido imprescindíveis para que minha graduação fosse fechada com chave de ouro, me ensinando tanto durante o período de estágio e sendo pessoas tão amáveis.

Agradeço, também, à Família McGough por ter me acolhido em sua casa por dois anos e por ter me ensinado tanto sobre o mundo e confiado a mim a vida preciosa de seus filhos.

À Professora Dr^a Juliana, que, sempre tão cortês, foi a melhor orientadora que alguém poderia pedir. Com toda sua calma e, ao mesmo tempo, empolgação pelo projeto, demonstrou ser uma verdadeira mestra, alguém que ensina por amor e acredita na mudança de um país pela força da educação e pesquisa.

Aos técnicos de laboratórios da UNESP- Itapeva: Brito, Anderson, Franco, Juscelino e Alex, por toda o auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigada!

E, finalmente, agradeço a todos a todos os professores da faculdade, que me deram durante os anos de graduação, todos os ensinamentos e valores necessários para que eu pudesse me tornar uma profissional ética, responsável e que respeita o meio ambiente.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

RESUMO

A busca por uma utilização mais consciente das matérias primas disponíveis, tem levado à necessidade de se criar produtos mais amigáveis ao meio ambiente. A utilização de fibras naturais para reforçar o cimento, por exemplo, tem sido amplamente estudada nas últimas décadas, por poderem melhorar propriedades do material como resistência à compressão e térmica, além de conferirem uma diminuição em seu peso total. O presente trabalho teve como objetivo realizar estudos exploratórios acerca da resistência térmica do compósito Cimento-Polpa Celulósica, utilizando resíduos advindos da indústria de celulose e papel. Através de experimentos realizados, pôde-se constatar que o compósito fabricado utilizando a proporção 30% cimento Portland e 70% polpa celulósica, teve resultados satisfatórios quanto à sua resistência térmica, podendo ser considerado como um material de potencial isolamento térmico, para a utilização na construção civil.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduos, compósito cimento-polpa, Isolamento térmico

ABSTRACT

The search for a more aware use of available raw materials has led to a need to create more sustainable products. The use of natural fibers to reinforce cement, for instance, has been widely studied in the past decades because of the possibility that they can improve material properties such as thermal resistance and to compression, besides conferring a decrease in their total weight. This present study aimed at to conduct preliminary studies on the thermal resistance of the composite cement - Cellulose Pulp, using waste from the pulp and paper industry. Through experiments, it was found that the composite manufactured using the ratio 30 % Portland cement and 70 % pulp, showed satisfactory results regarding its thermal resistance, so it could be considered as a potential thermal insulation material, for use in constructions.

Keywords: Utilization of waste, cement-pulp composite, thermal insulation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição dos Cimentos Portland.....	15
Figura 2 – Polpa celulósica branqueada, resíduo da indústria de celulose e papel.....	18
Figura 3 – Cimento Portland CP II E 32.....	19
Figura 4 – Batedeira planetária utilizada para a mistura dos materiais do compósito e água.....	20
Figura 5 – Aparência da mistura, após os componentes da matriz serem mixados.....	21
Figura 6 – Moldes preenchidos com as misturas utilizadas para representar os quatro traços propostos.....	22
Figura 7- Moldes preenchidos com a mistura ainda úmida.....	23
Figura 8- Temperaturas e umidades médias em Itapeva, o período de 15/09/13 a 10/10/2013.....	24
Figura 9- Medição do corpo de prova, antes de ser testado.....	25
Figura 10- Corpo de prova I sendo testado quando à sua resistência ao fluxo de calor.....	27
Figura 11 – Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPI).....	29
Figura 12 – Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPII).....	29
Figura 13 – Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPIII).....	30
Figura 14 – Comportamento do OSB, com aplicação de temperatura.....	31
Figura 15 – Comportamento da Lã de vidro, com aplicação de temperatura.....	31
Figura 16 - Gradientes de temperatura entre as duas faces dos materiais testados.....	32
Figura 17 - Comparativo entre os materiais, considerando os parâmetros de condutividade térmica e gradiente de temperaturas resultantes dos ensaios.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções utilizadas para fabricação dos corpos de prova	19
Tabela 2- Dimensões e características dos corpos de prova de cimento-polpa.....	24
Tabela 3- Dimensões dos materiais testados.....	25
Tabela 4- Características iniciais da polpa celulósica branqueada, residual do processo de fabricação do papel.....	28
Tabela 5- Condutividades térmicas do OSB e lã de vidro.....	32
Tabela 6- Gradientes de temperatura nas duas faces dos materiais testados.....	32

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	i
Lista de tabelas.....	ii
1 INTRODUÇÃO	Erro! Indicador não definido.
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 Resíduos.....	13
3.2 Celulose	Erro! Indicador não definido. 4
3.3 Cimento.....	Erro! Indicador não definido. 5
3.4 Compósito Cimento-Polpa Celulósica (CPC).....	16
3.5 Isolantes térmicos	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
6 CONCLUSÃO	35Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1-Introdução

O mundo vive um momento em que a sociedade se preocupa cada vez mais com a preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. O acelerado avanço tecnológico, associado a um intenso processo de urbanização, tem causado sérios problemas ambientais ao planeta, sobretudo em países menos desenvolvidos ou em estágio de desenvolvimento. As agressões ao ambiente são devidas, basicamente, à exploração predatória dos recursos naturais e à falta de medidas para o controle sobre lançamentos de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

A geração de resíduos, portanto, tem sido amplamente discutida e estudada, devido à crescente preocupação quanto às suas disposições finais e seus impactos socioambientais. O uso desses resíduos, seja lá quais forem suas naturezas, é atualmente uma grande tendência dentre os setores produtivos. Reutilizar e Reciclar são conceitos atuais e já fazem parte dos compromissos e metas de diversas indústrias.

Além do uso material do resíduo ser de grande importância para o meio ambiente, pois reduz seu impacto negativo no mesmo, existe hoje um grande interesse em valores ecológicos e em materiais renováveis e produtos têm sido crescentemente analisados não só baseados em sua qualidade, mas também sua qualidade ambiental (LORCH R., 1990).

A construção civil é uma das áreas onde mais se pesquisam alternativas para um uso mais “green” dos materiais, por serem em geral potencialmente renováveis, apresentarem propriedades satisfatórias e reduzirem custos totais de projetos.

A proposta deste trabalho foi exatamente a de estudar as propriedades térmicas de um compósito para utilização na construção civil como isolante térmico e que utiliza resíduos industriais em sua matriz. A matriz cimento-fibra produzida teve sua menor porcentagem representada pelo cimento Portland e sua porcentagem maior pela polpa celulósica de eucalipto branqueada, resíduo do processo de branqueamento de uma indústria de papel e celulose.

A indústria de celulose e papel é de grande representatividade no PIB brasileiro, sendo esse setor responsável por uma participação de 3,03% (exportações) na balança comercial durante o período de janeiro a agosto de 2013, de acordo com dados de SECEX/MDIC, 2013.

O Brasil, atualmente o 4º maior produtor de celulose do mundo, de acordo com BRACELPA prova que possui uma grande capacidade de produção, mas uma grande produção implica em uma grande geração de resíduos.

Utilizar estes resíduos para produção de novos produtos é não só uma responsabilidade com o ambiente e a sociedade, mas também a melhor forma de se criar uma cultura do uso material do resíduo, não apenas os utilizando para geração de energia, mas havendo um uso em cascata, onde eles serão utilizados de forma inteligente e tenham valor agregado.

2- Objetivos

2.1- Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo propor uma utilização para um dos resíduos gerados pela indústria de celulose e papel, criando-se um novo compósito para utilização na construção civil, reduzindo os possíveis impactos ao meio ambiente que o resíduo pudesse vir a causar.

2.2- Objetivos específicos

O estudo teve como objetivos específicos:

- Identificar o traço mais adequado para a fabricação de compósito cimento-polpa celulósica, a partir do reaproveitamento de resíduos gerados por indústrias de celulose e papel;
- Estudar a eficiência térmica do material fabricado e sua possível utilização como isolante térmico.

3-Revisão Bibliográfica

3.1- Resíduos

A industrialização da madeira gera grandes quantidades de resíduos, sendo esta uma atividade poluidora, pois em geral os resíduos são manejados de forma inadequada, sendo muitas vezes queimado resultando no lançamento de grande quantidade de CO₂ para a atmosfera, ou simplesmente realizando o depósito inadequado no meio ambiente.

Segundo o documento normativo NBR 10004/2004 da ABNT, os resíduos são classificados conforme suas características e propriedades:

- Resíduos classe I ou perigosos: apresentam periculosidade relacionada à inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Podem trazer riscos à saúde pública e efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Resíduos classe II A ou não inertes: não se enquadram na classe I-perigosos, mas não são inertes. Podem apresentar propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos classe II B ou inertes: resíduos que, submetidos a teste de solubilização (Norma NBR 10006/2005), não tenham nenhum de seus componentes solubilizados em concentrações superiores aos limites fixados na listagem anexa da norma. Não representam riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

No Brasil, muitas pesquisas têm sido dirigidas para o reaproveitamento de material rejeitado por outros processos produtivos. Além de resíduos de madeira, outros materiais, como fibra de sisal, fibra de coco, fibra de bananeira, têm sido utilizadas nessas pesquisas.

De acordo com a BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel- altos investimentos impactaram positivamente nas produções de celulose e papel no

Brasil na última década. O segmento cresce constantemente e, em 2011, a produção brasileira de celulose chegou a 14 milhões de toneladas.

Todo esse crescimento, porém, implica em um aumento da produção de resíduos. Na reciclagem de papel, por exemplo, os resíduos são gerados pelas perdas de fibra de celulose, pela remoção de cargas minerais das aparas e pelos resíduos originários das estações de tratamento de efluentes que caracterizam a maior parte do total de resíduos gerados em indústrias de papel e celulose.

Os resíduos de papel e celulose são basicamente constituídos por lodos primário e secundário. O lodo primário é composto de fibras de resíduos de madeira, com alto teor de carbono e baixo nível de nutrientes. O secundário, normalmente já passou por tratamento microbiológico, facilitando sua decomposição.

Outro resíduo gerado pela indústria de celulose e papel é o qual será utilizado para fabricação do material compósito em discussão neste trabalho. Esta polpa residual é gerada durante o processo de secagem da polpa de eucalipto já branqueada, onde a mesma acaba sendo carregada com a água retirada da polpa.

3.2- Celulose

A celulose é o polímero natural mais abundante, podendo ser encontrada comercialmente como polpa branqueada, polpa não branqueada, na forma nativa ou nas formas modificadas. É utilizada em diversos setores, sendo tecnicamente atraente devido à sua resistência, baixa densidade, biodegradabilidade, alta sustentabilidade e facilidade de conversão em outros produtos (THYGESSEN et al, 2005).

Assim, boas propriedades como estas têm levado a um estudo do material para utilização em compósitos, polímeros e outros.

No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pinus e eucalipto, responsáveis por mais de 98% do volume produzido (BRACELPA, 2013).

A produção de celulose envolve uma série de etapas, sendo que a polpação, processo de separação de fibras, pode ocorrer de forma química ou mecânica.

Após o cultivo, crescimento e colheita das florestas plantadas, a madeira é descascada e picada em forma de cavacos. Então os cavacos são submetidos ao processo de polpação para que se produza a celulose.

Os cavacos são primeiramente cozidos em digestor, com adição de químicos, água, pressão e temperatura, para que haja separação das fibras, entre celulose e lignina. Após este cozimento, a pasta marrom formada deve passar por outros processos de depuração, lavagem e branqueamento.

3.3- Cimento

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland, o cimento Portland é o material de construção de mais extenso uso no mundo. Sua invenção ocorreu há mais de um século, mas sua produção efetiva foi iniciada há cerca de 75 anos. Ainda de acordo com a ABCP, este material é um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que submetido à ação da água novamente, o cimento Portland não se decompõe mais.

Na Figura 1, a composição dos cimento Portland comuns e compostos podem ser observados.

Figura 1- Composição dos cimentos Portland

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clinker + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)	
Comum	CP I	100		-		NBR 5732
	CP I-S	99-95		1-5		
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: ABCP/2003

3.4- Compósito Cimento-polpa (CPC)

De acordo com Anjos et al, 2003, compósitos são materiais de duas ou mais fases que buscam melhorar determinadas propriedades que cada material em separado não apresenta. Entre essas propriedades pode-se citar a resistência à tração, resistência à flexão, rigidez, resistência à fadiga e condutibilidade térmica.

Os materiais compósitos podem ser classificados em três classes, quais sejam: compósitos com fibras, que consistem em fibras dispersas ou alinhadas dentro de uma matriz; compósitos laminados, que são constituídos de camadas de diferentes materiais, e compósitos particulados (ou em partículas), que são partículas de determinado material inserido dentro de uma matriz (JONES, 1975).

Hoje em dia, compósitos cimento-fibra têm sido amplamente estudados científica e comercialmente, pois há a necessidade de deixar de se utilizar fibras de amianto, nocivas à saúde.

Inclusive, o compósito cimento-fibra, também muito utilizado para acabamentos exteriores, ou *siding*, tem sido chamado “produto do futuro”, como descreve Kurpiel (1998). É um produto que há alguns anos tem sido utilizado nos países que fabricam casas pelo método construtivo *wood frame* e a maioria das companhias que o comercializam fornecem garantia de 50 anos para o mesmo.

Estudos sobre o compósito cimento-polpa são escassos, mas têm sido cada vez mais discutidos, uma vez que o material tem potencial para uma utilização “limpa” na indústria da construção civil.

Um dos exemplos de estudos sobre este material é o de Mohamed et al (2012). Estes utilizaram papel reciclado para a formação da matriz cimento-polpa. Durante o trabalho, propriedades do material foram testadas, utilizando diferentes proporções de papel reciclado. As propriedades testadas foram as resistências à tensões, densidade e condutividade térmica.

Ainda de acordo com Mohamed et al (2012), o material revelou uma redução na resistência à compressão do concreto, quando houve adição de fibras, no entanto sua resistência térmica foi melhorada, concluindo que o material seria de possível utilização para a construção, contanto que não haja excessivo esforço agindo sobre ele.

A distribuição das fibras na matriz também é um tópico importante a ser discutido. A utilização de pinus ou eucalipto para fabricação do compósito cimento-polpa faz com que suas propriedades sejam alteradas, devido ao comprimento de suas fibras. Utilizando o eucalipto é possível ter um maior número de fibras por volume ou peso, reduzindo as áreas com ausência de fibras (TONOLI et al, 2009). Tonoli et al. (2013), também observaram que a quantidade final de água contida no compósito, tem impacto sobre a performance mecânica do material: quanto menor a taxa água/cimento final, melhores serão as propriedades mecânicas dos compósitos fibrocimento.

3.5- Isolantes térmicos

Isolantes térmicos são utilizados com o objetivo de reduzir trocas de calor entre sistemas e meios, por apresentarem baixos coeficientes de condutividade térmica.

De acordo com Torreira (1980) *apud* Neira (2005), um bom isolante térmico deve apresentar as características:

- Baixo coeficiente de condutividade térmica
- Baixa massa específica
- Incombustibilidade ou auto-extinguibilidade
- Boa resistência mecânica
- Estabilidade química e física
- Facilidade de aplicação
- Resistência ao ataque de roedores, fungos e insetos
- Ausência de odor

Sendo difícil encontrar um material com todas as propriedades citadas, deve-se tentar utilizar um material que reúna a maior quantidade possível destas propriedades.

De acordo com FENILLI (2008), a lã de vidro é um dos isolantes térmicos mais tradicionais, apresentando boas qualidades como leveza, incombustibilidade e baixa condutividade térmica.

4- Materiais e Métodos

O material compósito cimento-polpa produzido tem sido estudado apenas nos últimos anos, sendo assim, suas propriedades ou porcentagens ideais de componentes a serem utilizados na mistura não são totalmente conhecidos.

Há informações sobre traços utilizados anteriormente nesse tipo de compósito, mas não especificamente para a utilização de celulose branqueada residual e descartada no processo de fabricação do papel, e sim se utilizando papel reciclado ou celulose de eucalipto branqueada retirada do processo especialmente para realização de pesquisas

Portanto, sendo um dos elementos da matriz um material com fonte diferente dos já utilizados, um processo diferente foi adotado, comparando-se com os de outras pesquisas. A Figura 2 ilustra o aspecto visual da polpa celulósica residual sendo preparada para receber o cimento.

Figura 2- Polpa celulósica branqueada, resíduo da indústria de celulose e papel



O cimento utilizado para a fabricação do compósito foi o Cimento Portland CII E32 Cauê, destinado às aplicações usuais para o cimento (Figura 3).

Figura 3- Cimento Portland CII E 32.



Para determinar-se o traço ideal a ser adotado, ou seja, a porcentagem de cada componente na matriz para que houvesse um resultado aparente satisfatório, adotaram-se diferentes proporções de celulose, cimento Portland e água. Em um dos corpos de prova, utilizou-se, também, um elemento adicional - o *dregs*, um material resultante da polpação e branqueamento da celulose e normalmente descartado ou utilizado para fins de adubação. Os *dregs* foram adicionados por apresentarem consistência ligante, o que poderia tornar o compósito mais compacto e adensificado. Os traços utilizados nesse primeiro experimento podem ser observados na Tabela 1, onde constam as proporções utilizadas e também o fator cimento/água, a ser comentado durante o trabalho.

Tabela 1- Proporções utilizadas para fabricação dos corpos de prova

Traço a ser testado	Cimento (gr)	Polpa (gr)	Água (ml)	Fator a/c	Dregs (gr)
Traço 1- 50%c /50%p	74,99	75,03	600	8	-
Traço 2- 40%c /60%p	60,43	90,2	700	11,58	-
Traço 3- 30%c /70%p	45,02	105,14	800	17,77	-
Traço 4- 30%c /70%p + Dregs	30,02	70,83	600	19,99	95,1

Para que os experimentos pudessem ser conduzidos, a celulose de eucalipto branqueada, advinda de uma indústria de papel e celulose e ainda úmida, foi

dispersada sobre um plástico, no ambiente de laboratório, pelo período de 14 dias, a fim de que fosse seca.

Com a polpa celulósica seca, o compósito pôde ser fabricado, utilizando os componentes em suas porcentagens descritas na tabela acima.

Para a mistura dos componentes do compósito e a água, utilizou-se uma batedeira planetária da marca Braesi, modelo BP 12, onde foram misturados pelo período de 10 minutos, até que estivessem totalmente homogeneizados (Figura 4).

O aspecto da mistura após misturada na batedeira pode ser observada na Figura 5.

Figura 4- Batedeira planetária utilizada para a mistura dos materiais do compósito e água



Figura 5- Aparência da mistura, após os componentes da matriz serem mixados.



O fator água/cimento (a/c) é um fator que mostra a relação entre água e cimento utilizados para fabricar o material. Neste experimento, o fator a/c foi maior do que o observado em literatura com alguma semelhança sobre essa tipologia de compósito. Isso se deveu, principalmente, à maior quantidade de celulose seca adicionada à matriz, o que aumenta a necessidade de maior adição de água, para que a mistura tenha uma consistência pastosa.

Com esse procedimento de homogeneização realizado, as misturas de cada traço foram colocadas em moldes vazados de madeira, de dimensões: 10cmx15cmx4cm (Figura 6).

Os moldes preenchidos com as misturas ficaram armazenados durante o período de 10 dias, e após este período os corpos de prova foram, então, desenformados. Os mesmos permaneceram em ambiente de laboratório, com umidade e temperatura não controladas, desde sua fabricação, retirada do molde, até quando se deu a cura total do cimento, aos 28 dias.

Figura 6- Moldes preenchidos com as misturas utilizadas para representar os quatro traços propostos



Após o período de cura, os 4 corpos de prova foram analisados visualmente, de modo a se identificar em qual proporção de componentes o material satisfaz algumas características almejadas como: não-esfarelamento e leveza.

A partir dessa análise, pôde-se perceber que o corpo de prova fabricado utilizando os 30% de cimento e 70% de popa celulósica, apresentou boas características, tais como: leveza, integridade e bordas que não esfarelavam.

Assim, definiu-se a utilização desse traço para fabricar outros corpos de prova, com dimensões maiores adequados ao equipamento que seriam realizados os ensaios quanto ao seu potencial de isolamento térmico.

O procedimento para fabricação para esses corpos de prova foi o mesmo das primeiras amostras. Neste ponto do experimento, utilizou-se a polpa celulósica branqueada já seca anteriormente.

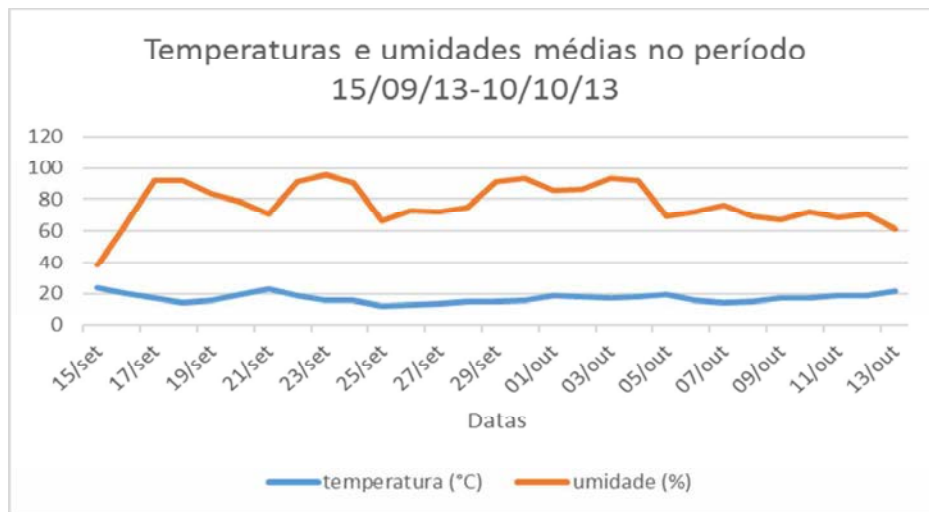
Após, a mistura foi transferida manualmente para moldes vazados de madeira, com dimensões: 32cm x 32cm x 5cm (Figura 7), onde ficaram armazenados em ambiente externo, pelo período de 10 dias, quando já estavam mais consistentes e pudessem ser desenformados.

Figura 7- Moldes preenchidos com a mistura ainda úmida.



Depois de desenformados, os corpos de prova continuaram em ambiente externo por mais 18 dias, para que se desse a cura total do cimento. As temperaturas e umidades médias do ar na cidade de Itapeva-SP, às quais os corpos de prova estiveram expostos durante os 28 dias, são mostradas na Figura 8, baseada em informações do site do INMET. O gráfico mostra que durante o tempo de exposição ao ambiente, os corpos de prova foram submetidos a temperaturas relativamente baixas e altas umidades do ar. As médias de temperatura e umidade foram, respectivamente, 17,32°C e 77,65%.

Figura 8- Temperaturas e umidades médias em Itapeva, no período de 15/09/13 a 10/10/2013



Aos 28 dias a partir da fabricação dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos a um ensaio para determinação da diferença de temperaturas nas duas faces das amostras, quando expostas a temperaturas elevadas. Após a cura total do cimento, os corpos de prova tiveram redução em suas dimensões, devido à perda de água. A variação dimensional, pesos e densidades pós-cura, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Dimensões e características dos corpos de prova de cimento-polpa

	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)	Área (m ²)	Peso (gr)	Densidade (g/cm ³)
CPI	29,5	29,4	4	867,3	1152,93	0,332
CPII	29,1	28,6	3,7	832,26	1165,57	0,379
CPIII	30	30	4	900	1192,61	0,33

Figura 9- Medição do corpo de prova, antes de ser testado.



Como a proposta do trabalho foi realizar uma comparação do material desenvolvido, suas diferenças de temperatura quando expostos a uma temperatura elevada, com os materiais com propriedades térmicas já conhecidas a serem comparados são: o OSB (*Oriented Strand Board*) e a Lã de vidro.

Os materiais OSB e lã de vidro têm suas dimensões apresentadas na tabela 3.

Tabela 3- Dimensões dos materiais testados

Material	Comprimento (cm)	Largura (cm)	Espessura (cm)
OSB	30	30	2
Lã de vidro	30	30	4

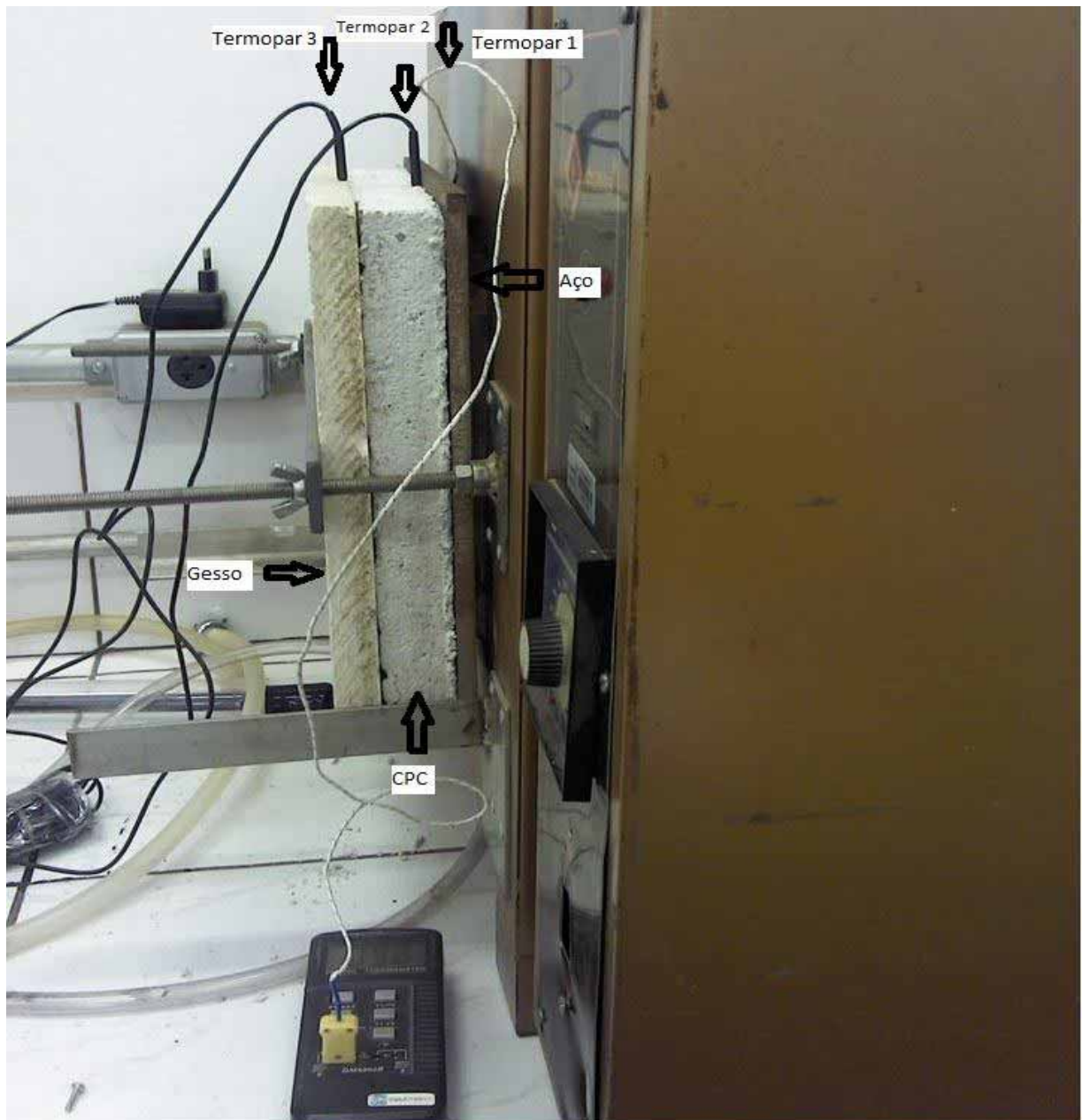
Para a realização do experimento, foram utilizados uma mufla da marca Quimis 220 V, um termômetro digital Equitherm Modelo DM6802B, um termopar da marca ebro

Electronic GmgH & Co, modelo EBI-2 e uma placa de aço com dimensões: 30cmx30cmx1cm e uma placa de gesso com dimensões: 30cmx30cmx4cm.

Para o experimento adotou-se a técnica de medições de temperaturas nas duas faces dos materiais, realizadas com os termopares. Um termopar foi posicionado entre a mufla e a placa de aço, enquanto os outros dois nas interfaces aço/material testado e material testado/gesso, respectivamente (Figura 10).

O termopar (1) colocado entre mufla e placa de aço teve como objetivo de utilização, a medição da temperatura que estava sendo aplicada à placa de aço. O segundo termopar (2), posicionado entre a placa de aço e o material testado, foi utilizado para medir a temperatura transmitida da chapa de aço para o compósito, e a outra terminação do termopar (3), efetuou a medição de temperatura que estava sendo transferida para a outra face do material testado, voltada para a placa de gesso.

Figura 10- Corpo de prova I sendo testado quanto à sua resistência ao fluxo de calor.



As medições em cada um dos termopares, assim como a temperatura ambiente, foram registradas em intervalos de tempo de 1 minuto, durante 30 minutos. O mesmo procedimento foi aplicado para todos os corpos de prova testados.

Os dados obtidos através das medições foram analisados e serão apresentados e discutidos na seção de resultados e discussões.

5- Resultados e Discussão

A partir de testes no laboratório de celulose e papel, a celulose utilizada foi caracterizada e essas informações podem ser visualizadas na tabela 4.

Tabela 4- Características iniciais da polpa celulósica branqueada, residual do processo de fabricação do papel

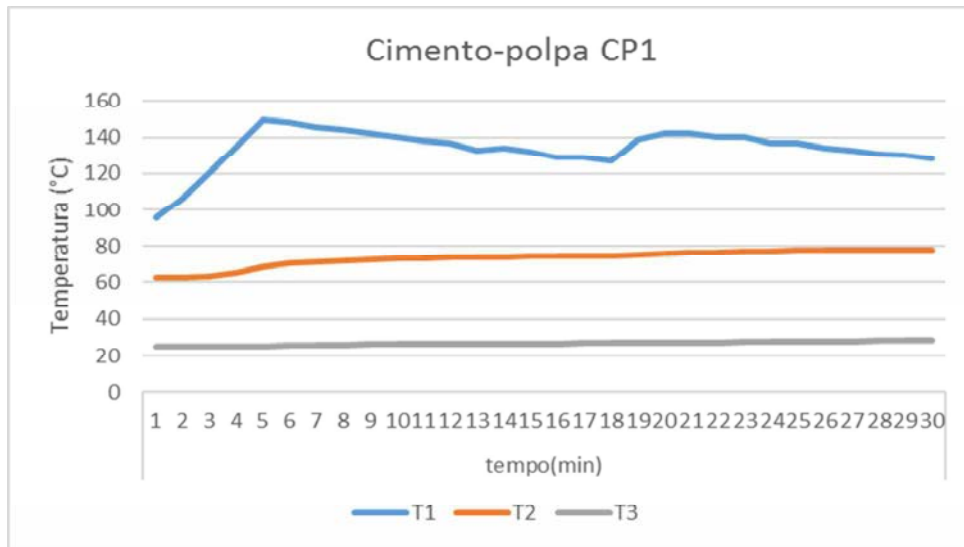
Comprimento médio fibras (mm)	% finos	n° Kappa	Holocelulose (%)	Alfa-Celulose (%)	% Resíduos
0,78	6,21	2,7	98,85	95,05	0,97

Testes foram realizados, a fim de determinar-se uma faixa aproximada de um fator de condutividade térmica inerente ao material Cimento-Polpa Celulósica. Foram analisados 3 corpos de prova do material fabricado, além do OSB e da Lã de vidro, os quais têm um fator de condutividade térmica (K) já conhecido na literatura.

Ao se analisar os gradientes de temperatura entre as duas faces dos materiais durante 30 minutos, pôde-se gerar resultados gráficos do comportamento térmico dos materiais apresentados a seguir.

Para o primeiro corpo de prova de Cimento-Polpa Celulósica, pôde-se observar uma grande diferença entre as Temperaturas 2 e 3, as quais representam as temperaturas nas faces do material testado. Assim, percebe-se que o material tem potencial isolante, por não deixar que altas temperaturas aplicadas em uma face, permaneçam altas quando atravessam o material e em sua outra face. A Figura 11, mostra como se comportou o material, durante exposição a altas temperaturas. A temperatura 1 (linha azul) é a temperatura aplicada no aço, placa posicionada em frente à saída da mufla, a temperatura 2 (linha marrom) face receptora de calor do compósito e a temperatura 3 (linha cinza) é a face que transmite o calor para o gesso.

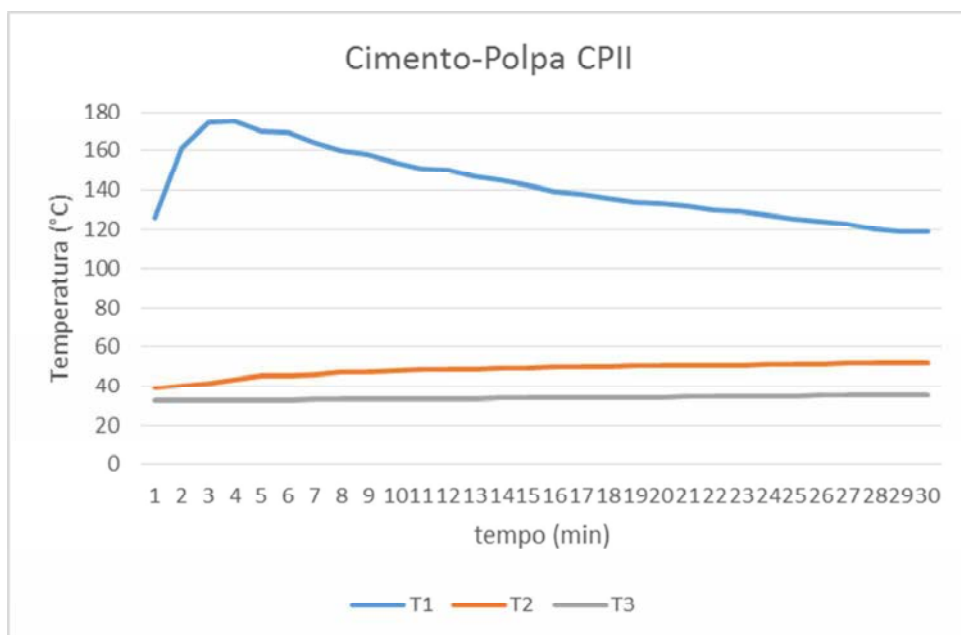
Figura 11 - Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPI)



Pode-se perceber uma constância na temperatura em ambas as faces do material, sendo que o gradiente T2-T3 médio, foi de 48,45. Durante este ensaio, a temperatura ambiente foi constante e no valor de 18,1°C.

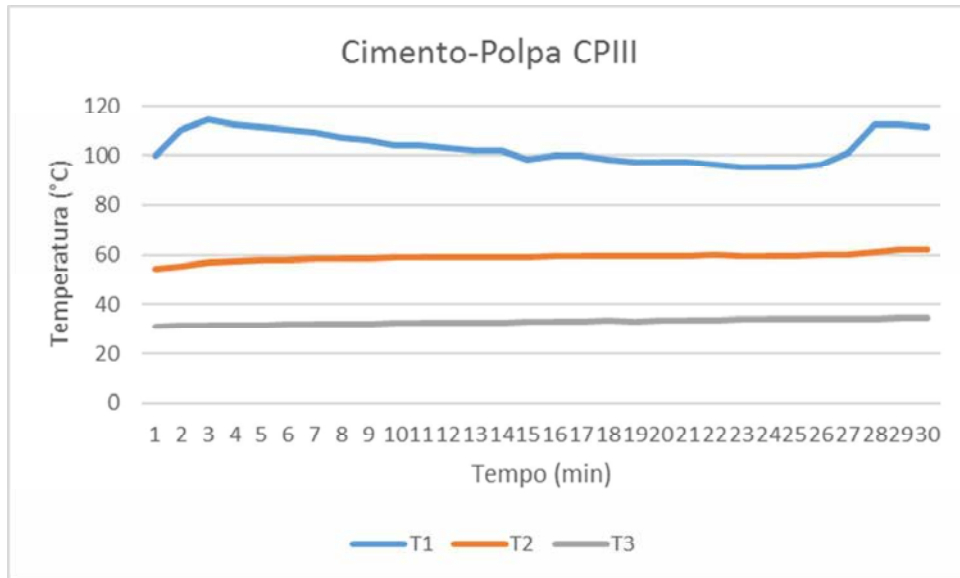
Ao analisar o segundo corpo de prova Cimento-Polpa, observa-se também que, as temperaturas das duas faces do compósito CPC permaneceram quase constantes, apesar da temperatura inicial sendo aplicada no aço sofrer grandes variações, como observa-se na Figura 12. Durante este ensaio, a temperatura ambiente era de 27°C.

Figura 12- Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPII)



Os resultados gráficos do ensaio realizado com o corpo de prova 3, quando a temperatura ambiente era de 27,2°C, podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13- Comportamento do Cimento-Polpa, com aplicação de temperatura (CPIII)



Assim como os testes realizados com os dois primeiros corpos de prova, o terceiro CP apresentou boas características isolantes, pois apesar de ser exposto a temperaturas elevadas, manteve-se com temperaturas praticamente constantes em ambas as faces, além de reter ou impedir a passagem de calor para a face não exposta à temperatura aplicada.

O CPI cimento-polpa apresentou uma diferença de temperatura nas faces bastante elevadas (T2 para T3), o que significa que o material não permitiu que todo o calor sendo aplicado nele fosse transferido para a outra face, propriedade de suma importância para a utilização de um material como isolante térmico;

Por outro lado, o CPII cimento-polpa obteve a variação entre as faces do compósito menor, mas apresentou uma grande diferença entre a temperatura aplicada na placa de aço e a temperatura na face do CP que recebeu o calor (T1 para T2). Isso mostra um retardamento na absorção de calor, comportamento parecido com o observado para a lã de rocha;

O CPIII cimento-polpa teve o gradiente de temperatura entre as faces mais elevado, se comparado ao CPII, no entanto não deixou de isolar a passagem do calor pelo material, pois mesmo quando a temperatura em uma de suas faces foi mais elevada

que 60°C, sua outra face apresentava temperaturas pouco maiores que 20°C, o que garantiria um conforto térmico se fosse uma parede de uma habitação;

Seguindo o mesmo procedimento, foram realizados os testes com o OSB e a lã de vidro. Os resultados gráficos podem ser observadas nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Durante ambos os ensaios, a temperatura ambiente era 26,2°C.

Figura 14 - Comportamento do OSB, com aplicação de temperatura

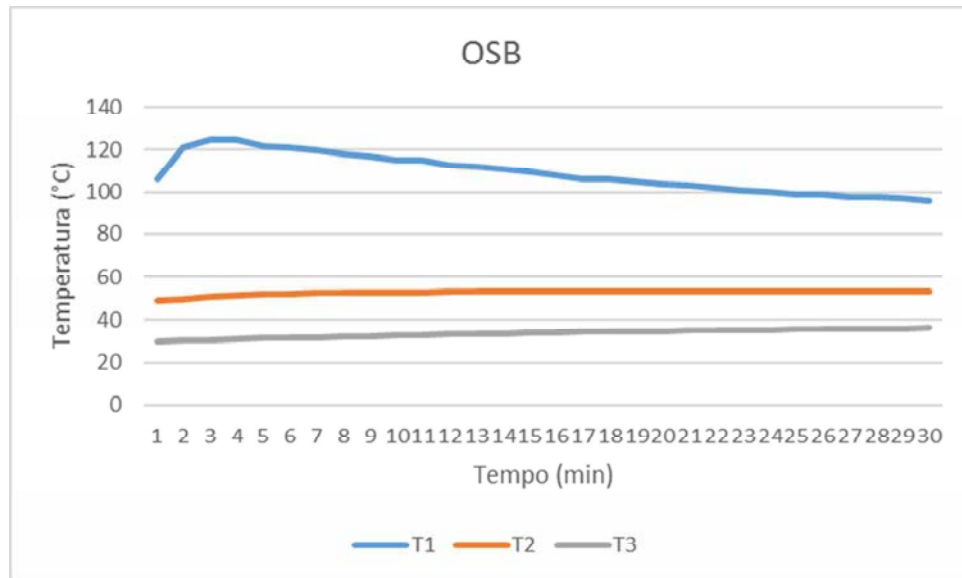
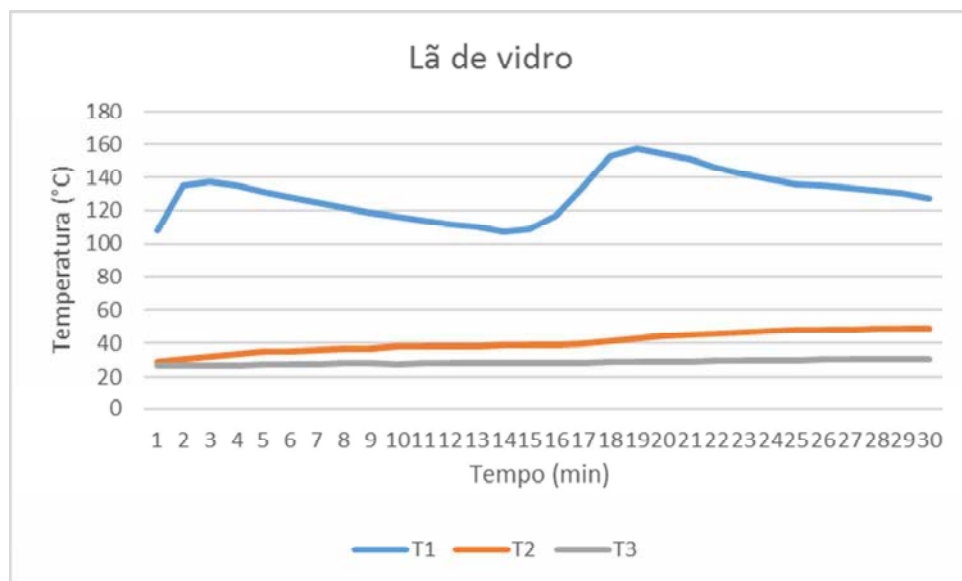


Figura 15- Comportamento da Lã de vidro, com aplicação de temperatura



Através de revisão de bibliografia, os dados de condutividades térmicas dos materiais OSB e lã de vidro foram obtidos e podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5- Condutividades térmicas do OSB e lã de vidro

Material	Fator de condutividade térmica (K) W/mK
OSB	0,13
Lã de vidro	0,04

Fonte: Material for Architects and Builders, 2007

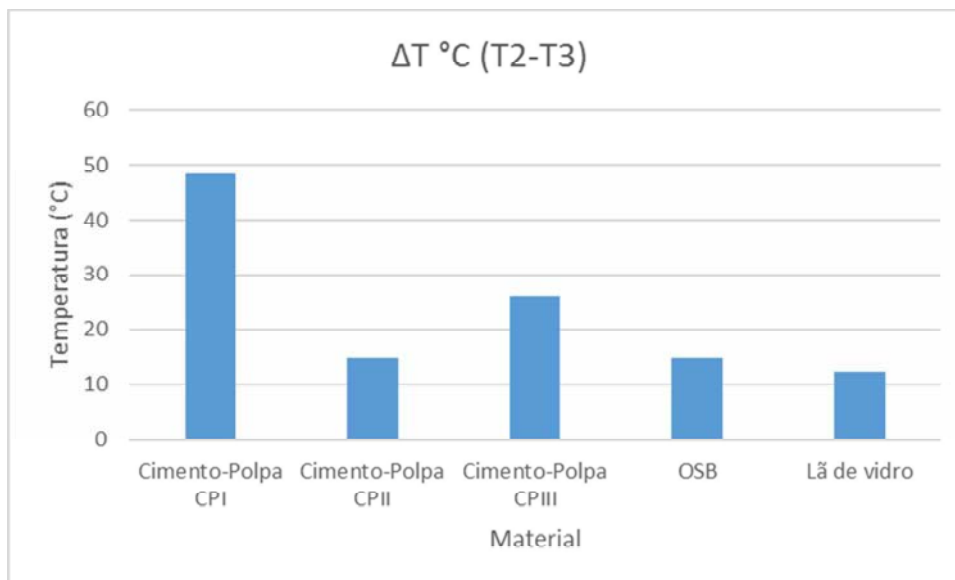
As diferenças das temperaturas nas duas faces dos materiais testados são apresentadas na tabela 6.

Tabela 6- Gradientes de temperatura nas duas faces dos materiais testados.

Material	ΔT °C (T2-T3)
Cimento-Polpa CPI	48,45
Cimento-Polpa CPII	14,88
Cimento-Polpa CPIII	25,98
OSB	14,72
Lã de vidro	12,2

A representação gráfica de tais gradientes é mostrada na Figura 16.

Figura 16 - Gradientes de temperatura entre as duas faces dos materiais



A fim de que os coeficientes dos materiais pudessem ser comparados, foi proposta uma aproximação para um valor de condutividade térmica para o material cimento-polpa. Tal aproximação se deu pela multiplicação dos fatores de condutividade térmica (K) dos materiais cimento e polpa, por suas respectivas proporções de utilização na fabricação do compósito.

A equação utilizada:

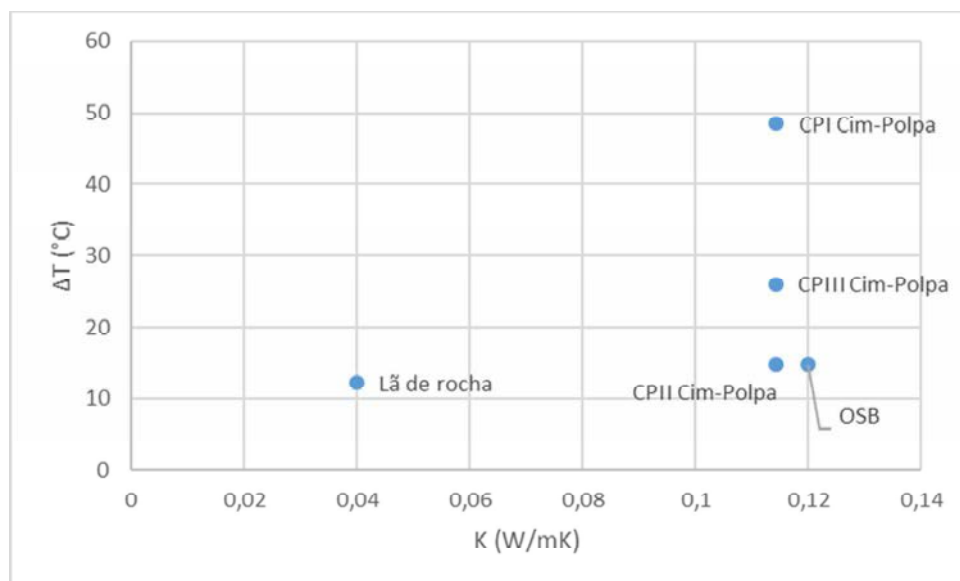
$K_{\text{cimento-polpa}} (30\% - 70\%) = 0,3 \times K_{\text{cimento}} + 0,7 \times K_{\text{polpa celulósica}}$.

Assim, sendo as condutividades do cimento e da polpa celulósica, respectivamente: 0,29 W/mK e 0,039 W/mK, a condutividade estimada proposta foi:

$K_{\text{cimento-polpa}} = 0,1143 \text{ W/mK}$.

As comparações gráficas entre os materiais testados, utilizando como parâmetros os gradientes de temperatura entre suas faces e seus fatores de condutividade térmica, mostram coerência entre as variações das T2 e T3 de todos os materiais analisados (Figura 17).

Figura 17- Comparativo entre os materiais, considerando os parâmetros de condutividade térmica e gradiente de temperaturas resultantes dos ensaios.



Como nota-se na figura, o CPI de cimento-polpa apresentou um alto gradiente de temperatura entre suas faces, o que mostra que se comportou como um ótimo isolante térmico, não deixando que todo o calor de uma face fosse transferida a outra face do material.

Os CII e CIII tiveram comportamentos semelhantes entre si, obtendo valores mais próximos um do outro, se comparados ao CPI.

A lã de rocha, em contrapartida, apesar de ter tido um gradiente de temperatura de valor menor, mostra que o calor recebido por ele através da placa de ferro demorou

a ser absorvido pelo material, retardando até mesmo o processo de absorção de temperatura.

6- Conclusão

A partir dos resultados obtidos, algumas conclusões puderam ser tecidas:

- O material cimento-polpa é leve e sua fabricação não requer altos valores energéticos, reforçando que sua utilização e processos de fabricação são “limpos”, além de envolverem o reaproveitamento de um resíduo gerado pela indústria de celulose e papel;
- O coeficiente de condutividade térmica (K) do compósito cimento-polpa, não pôde ser determinado experimentalmente, pois demanda a utilização de equipamentos (fluxímetro) não disponíveis na UNESP-Itapeva, mas este teve uma proposição de aproximação, obtendo-se: $K = 0,1143 \text{ W/mK}$. A proposição mostrou-se coerente, mas necessita de alguns ajustes, visto que o corpo de prova II de cimento-polpa se aproximou muito do gradiente de temperatura da lã de vidro, material isolante utilizado amplamente na construção civil e de condutividade térmica menor do que a proposta para o compósito cimento-polpa;
- Observando-se a variação de temperatura entre as faces do compósito, pode-se concluir que todos isolaram a passagem de calor da fonte para a face externa do mesmo, o que vem indicar a possibilidade de utilização deste material como isolante térmico para paredes e forros em edificações;
- O OSB obteve diferença de temperaturas entre faces satisfatória, apesar de seu coeficiente de condutividade térmica ser maior, se comparado ao cimento-polpa e à lã de vidro;
- A lã de vidro teve sua eficácia quanto ao isolamento térmico comprovada, não permitindo que a quantidade de calor recebida fosse transmitida para a outra face;
- Todos os corpos de prova do compósito cimento-polpa obtiveram valores interessantes quanto às suas diferenças de temperaturas entre faces, permitindo seu uso como isolante térmico para paredes e tetos;
- É necessário um estudo mais aprofundado para se determinar o coeficiente de condutividade térmica preciso para o compósito fabricado, mas o mesmo já mostrou ser resistente à passagem de calor e de interessante valor

comercial, por ser fabricado utilizando pouca energia, reaproveitar resíduos e, assim, diminuindo custos para sua produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENTCHIKOU, M. **Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix**. Construction & building materials, v. 34, iss:1, p.451, 2012.

Boletim técnico- Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf> Acesso em 03/11/2013

Dados meteorológicos em Itapeva. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTcxNA==> Acesso em 07/11/2013.

DOS ANJOS, Marcos A.S. et al. **Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 7, p. 346, 2003

FENILLI, R. J. Sistemas termoisolantes: tipos, finalidades e aplicação. **Climatização & Refrigeração**, n. 94, 2008.

JONES, R.M. **Mechanics of composite materials**. McGraw-Hill Company. p.368, 1975.

KURPIEL, F.T. **Fiber–cement siding is tomorrow’s growth product**. Wood Tech 1998; 125(1):50–4.

Lorch R. **Construction materials and the environment**. The Economist Intelligence Unit, special report no. 2039. London/ New York; 1990.

Lyons, Arthur. **Materials for Architects and Builders 3rd ed**. Oxford: Elsevier, 2007.

NEIRA, D. S. M. **Fibras de sisal (*agave sisalana*) como isolante térmico de tubulações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

Panorama das Indústrias de Celulose e Papel, 2012. Disponível em:<<http://www.bracelpa.org.br> > Acesso em 08/11/2013.

Resultados do setor de Celulose e Papel, 2013. Disponível em:

<<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-058.pdf>> Acesso em 01/10/13.

Resíduos Sólidos- Classificação. Disponível em:

<<http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>> Acesso em 03/11/2013.

THYGESEN, A. et al. **On the determination of crystallinity and cellulose content in plant fibers.** Cellulose 12, 563-576, 2005.

TONOLI, G.H.D.; BELGACEM, M.N.; SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; SAVASTANO, H.; ROCCO LAHR, F.A. **Processing and dimensional changes of cement based composites reinforced with surfasse-treated cellulose fibres.** Cement and Concrete and Composites, v. 37, p. 68-75, March 2013.

TONOLI, G.H.D.; SAVASTANO, H.; FUENTE, E.; NEGRO, C.; BLANCO, A.; ROCCO LAHR, F. A. **Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites.** Industrial Crops & Products, v. 31 (2), pp 225-232, 2010.