

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
ANDRÉ LUIZ ZANIN

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO COMPÓSITO PVC/WOOD (WPC)

Varginha
2022

ANDRÉ LUIZ ZANIN

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO COMPÓSITO PVC/WOOD (WPC)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Me. Eduardo Emanuel Vieira Guedes.

Varginha

2022

ANDRÉ LUIZ ZANIN

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DO COMPÓSITO PVC/WOOD (WPC)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Eduardo Emanuel Vieira Guedes

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos aqueles que apreciam a área de processos e a área de materiais, principalmente compósitos de matrizes poliméricas com reforço lignocelulósicos e utilizam estes materiais de forma efetiva, reutilizando-os de forma ecológica e sustentável e evitando desperdícios e perdas. Dedico também a todos aqueles que contribuíram para que eu pudesse realizar a pesquisa com êxito.

Agradeço a Deus pela saúde me fornecida para realização do trabalho, a minha família pela dádiva da vida, minha mãe Silvana e minha namorada Fernanda pelo amor incondicional e apoio quando necessário, agradeço também a todos que, de alguma forma contribuíram para a realização do trabalho, a MGM por fornecer os materiais necessários, o Unis por disponibilizar o laboratório para testes e ao meu professor orientador Eduardo pelo compartilhamento de conhecimentos.

“A ciência humana de maneira nenhuma nega a existência de Deus. Quando considero quantas e quão maravilhosas coisas o homem compreende, pesquisa e consegue realizar, então reconheço claramente que o espírito humano é obra de Deus, e a mais notável.”

Galileu Galilei

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo, além de apresentar o estudo detalhado relacionado ao processo e desenvolvimento do material, também desenvolvê-lo, realizar testes e comparações, e com isso, avaliar a viabilidade técnica da obtenção de compósitos lignocelulósicos de PVC, e assim, melhorar produtos já fabricados e implementar novos produtos, visando a sustentabilidade e evitando a perda de material. O PVC/wood, também conhecido como WPC é um material de tecnologia alemã que, como o nome diz, é feito da mistura de madeira e PVC, utilizando-se do resíduo da madeira como carga reforçativa. O material une o melhor dos dois compostos, utilizando o reforço das fibras de madeira para deixar a estrutura moldável e impermeável do PVC mais resistente aos esforços mecânicos. Sua linha de produção é simples e necessita de pouco maquinário para gerar o produto final, também consome pouca matéria-prima sendo a maior parte dela reaproveitada de outros meios como a reciclagem de plásticos e o reaproveitamento de descarte de madeira, sendo um material de alto valor eco sustentável. O estudo analítico para desenvolver o PVC/wood contribui para que se consiga utilizar de uma melhor forma o pó da madeira, material este, que é de suma importância para o processo e que hoje não tem um devido fim. Para o desenvolvimento da linha de materiais de WPC, se faz necessário a utilização de maquinários e materiais, porém, para realização dos testes iniciais, consegue-se adaptar o processo por conta da menor quantidade de produtos utilizados. O experimento relatado demonstrou que quando realizado de acordo com o procedimento detalhado, pode ser eficiente, mesmo que o processo seja adaptado apenas para testes. Os resultados obtidos neste estudo indicam que o processo é eficiente e pode ser uma boa alternativa para a reutilização do pó da madeira. Também pode-se notar, que o PVC/wood consegue substituir e ser superior a madeira em quase todos os aspectos.

Palavras-chave: Material. Compósitos. Sustentabilidade. PVC/wood.

ABSTRACT

This work has as objective, in addition to presenting the detailed study related to the process and material development, also to develop it, carry out tests and comparisons, and with that, to evaluate the technical feasibility of obtaining PVC lignocellulosic composites, and thus, improve products already manufactured and implement new products, aiming at sustainability and avoiding the loss material. PVC/wood, also known as WPC, is a German technology material that, as the name says, is made from a mixture of wood and PVC, using wood residue as reinforcing load. The material unites the better of the two compounds, using the reinforcement of wood fibers to make the moldable and waterproof PVC structure more resistant to mechanical stress. Its production line is simple and requires little machinery to generate the final product, also consumes little raw material, most of which is reused in other ways such as plastic recycling and the reuse of wood disposal, being a material of high eco-sustainable value. The analytical study to develop PVC/wood contributes to the better use of wood dust, this material, which is of paramount importance to the process and which today does not have a proper end. For the development of the WPC material line, necessary to use machinery and materials, however, to carry out the initial tests, it is possible to adapt the process due to the smaller amount of products used. The reported experiment demonstrated that when performed according to the detailed procedure, can be efficient, even if the process is adapted for testing only. The results obtained in this study indicate that the process is efficient and can be a good alternative for the reuse of wood dust. It can also be notice that PVC/wood manages to replace and be superior to wood in almost every aspect.

Keywords: *Material. Composite. Sustainability. PVC/wood.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Fluxograma do processo de fabricação do material.....	16
Figura 02 - Resíduo de madeira coletado na empresa MGM.....	18
Figura 03 - Compósito de PVC/wood.....	20

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	12
3 HISTÓRIA DO PVC/WOOD.....	13
4 COMPOSIÇÃO.....	13
5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	14
6 UTILIZAÇÃO DO MATERIAL, VANTAGENS E SUAS LIMITAÇÕES.....	16
7 METODOLOGIA.....	17
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
9 CONCLUSÃO.....	21
REFERÊNCIAS.....	23
ANEXO.....	25

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, são constantes as mudanças e inovações tecnológicas, os compósitos polímero/madeira representam um novo tipo de material com crescimento significativo no mercado devido às vantagens econômicas e ambientais. O presente estudo busca uma abordagem completa acerca do desenvolvimento do material PVC/Wood, processo este que se resume em farinha de madeira, PVC virgem, polietileno e aditivos usados como estabilizantes para homogeneizar o material, ceras e lubrificantes para ajudar na extrusão, agentes endurecedores, modificadores de impacto para reduzir a fragilidade do material, agentes de sopro e corantes.

A utilização de materiais lignocelulósicos, principalmente fibras vegetais como reforço em matrizes poliméricas termorrígidas e termoplásticas tem sido de grande interesse científico e tecnológico nos últimos anos devido às vantagens que oferecem quando comparados a cargas tradicionais. O projeto em questão possui grande relevância, pois com a realização de estudos e testes, será possível identificar e comparar, o quão vantajoso pode ser a implementação de produtos feitos de WPC. Este trabalho visa, não só o benefício que o material trará na utilização em produtos, mas também em um outro ponto muito importante nos tempos atuais, que é a reutilização de forma inteligente e sustentável, evitando o máximo possível a perda de sobras, tais como do pó de madeira, que é de suma importância para a fabricação do mesmo.

Portanto, para que se consiga obter o material, fez-se necessário uma pesquisa acerca dos materiais utilizados em sua composição, o processo para fabricá-lo e quais os custos envolvidos para tal.

Diante disto, tem-se como objetivo, apresentar um estudo detalhado relacionado ao processo e desenvolvimento do material, demonstrar quais materiais são utilizados em sua composição e processo para fabricação, além de realizar testes e comparações, avaliando a viabilidade técnica de compósitos lignocelulósicos de PVC.

Para o desenvolvimento da linha de materiais de WPC, se faz necessário a utilização de maquinários e materiais, porém, para realização dos testes iniciais, consegue-se adaptar o processo por conta da menor quantidade de produtos utilizados. O resíduo de madeira utilizado como reforço para desenvolvimento do compósito é proveniente da espécie *Eucalyptus* e pertence à família *Myrtaceae*. Este que é conhecido popularmente como Eucalipto.

Este trabalho começa, então, por abordar a respeito dos materiais compósitos, posteriormente, traz a história do PVC/wood, sua composição, processo de fabricação, utilização, vantagens e limitações. Por fim, será apresentado a parte prática e seu resultados.

2 MATERIAIS COMPÓSITOS

Segundo a ASTM (2001), compósito é uma mistura física, de dois ou mais materiais combinados para formar um novo material útil de engenharia com propriedades diferentes aos componentes puros, podendo ser obtidos através de metais, cerâmicas ou polímeros.

O uso de madeira como fibra de reforço em polímeros é uma área da economia mundial que vem se desenvolvendo intensamente nos últimos anos. Para o Brasil, infelizmente, são poucos os dados sobre este produto, tendo em vista principalmente que as aplicações são ainda bastante emergentes e o controle de resíduos está ainda em processo de implementação (RODOLFO JR. e JOHN, 2005).

As técnicas mais utilizadas de usinagem da madeira, tais como corte e desbaste, promovem grandes perdas de material, principalmente na forma de resíduo fino (“serragem”), material de pouca utilização, porém com alto valor comercial, sendo normalmente empregado em processos industriais como fonte de calor (queima) (RODOLFO JR. e JOHN, 2005).

Muitos autores sugerem que o custo da madeira tende a crescer no futuro, principalmente por aumento da demanda, escassez crescente e da implantação de manejo sustentável (ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 1999).

Espera-se, portanto, que a madeira deva mudar seu modo de utilização para produtos cada vez mais nobres, restando a alternativa de dar uma destinação mais adequada aos seus resíduos na forma de produtos com algum mínimo valor agregado (RODOLFO JR. e JOHN, 2005).

Polímeros reforçados com fibras lignocelulósicas fazem parte de um novo modelo de materiais que combinam as características favoráveis tanto da madeira quanto dos plásticos (ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 2002).

No caso específico do PVC, seus compósitos lignocelulósicos exibem atributos bastante favoráveis tais como facilidade de processamento em equipamentos, além de características interessantes tais como resistência à umidade e a insetos, resistência ao intemperismo, baixa absorção de umidade, possibilidade de soldagem de perfis nos cantos (processo semelhante ao utilizado na montagem de esquadrias de PVC), além da possibilidade de sofrer processos tipicamente utilizados na madeira como colagem, montagem por pregos ou parafusos auto-atarraxantes, pintura (somente caso desejado), dentre outras. (ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 2002, f. 1).

Diversos autores mencionam que o desenvolvimento de novas tecnologias de polímeros reforçados com fibras lignocelulósicas será um dos vetores do crescimento do mercado mundial nos próximos anos (ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 1998).

3 HISTÓRIA DO PVC/WOOD

Atualmente, um dos graves problemas da humanidade é a grande quantidade de resíduos sólidos gerados por cada pessoa, dia após dia. Buscar soluções inovadoras e que sejam eficazes na reciclagem e reuso de parte desses resíduos torna-se cada vez mais necessário (OLIVEIRA et al, 2002).

O PVC/Wood se aplica a esse quadro, se mostrando uma solução viável economicamente, competitiva e com vantagens em relação à madeira convencional. Pode ser classificada como uma tecnologia ambientalmente saudável, de acordo com o documento da Agenda 21 Global (BRASIL, 1995), que aborda sobre esse tipo de tecnologia como aquelas que:

[...] protegem o meio ambiente, são menos poluentes, usam todos os recursos de forma mais sustentável, reciclam mais seus resíduos e produtos e tratam os dejetos residuais de uma maneira mais aceitável do que as tecnologias que vieram substituir. (BRASIL, 1995, f. 1).

Segundo Pinto (2007 apud PAULA; COSTA, 2008) foi na Europa que a ideia de madeira plástica surgiu pela primeira vez, por volta da década de setenta. No entanto, apenas no início dos anos noventa, nos EUA, é que o mercado aceitou algumas tecnologias que utilizavam plásticos reciclados em moldes que substituíram a madeira natural em deques e cercas. Ainda segundo Pinto (2007 apud PAULA; COSTA, 2008) os autores denominam madeira plástica reciclada (RPL), sigla que se origina do inglês *Recycled Plastic Lumber*. Outra nomenclatura para os perfis de madeira que eram fabricados a partir de plásticos reciclados ou composições de plástico com fibras de madeira é o WPC.

A autora, Hillig (2006) relaciona a madeira plástica como um composto polimérico reforçado com madeira.

Com o desenvolvimento das pesquisas e tecnologias, o termo foi aplicado às madeiras plásticas de outros modelos e com utilidades das mais variadas possíveis (OLIVEIRA et al, 2002).

4 COMPOSIÇÃO

Segundo Amaral (2009), a obtenção de compósitos, no sentido estrito da palavra, depende do entendimento das interações na interface entre a matriz polimérica e o reforço lignocelulósico, bem como do desenvolvimento de técnicas de processamento que garantam a

extração da umidade remanescente na carga reforçante e a correta dispersão e homogeneização das fibras ou partículas na matriz polimérica.

Inúmeras tecnologias estão sendo produzidas, utilizando-se de diversas matrizes poliméricas e diversos tipos de reforços lignocelulósicos. O potencial de desenvolvimento de novos materiais compósitos conciliando matrizes termoplásticas e cargas reforçantes de origem lignocelulósica é vasto. A ideia principal é sempre unir dois materiais, buscando sinergia de propriedades (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

Segundo Agnelli (2000), compósitos poliméricos são materiais compatibilizados constituídos por pelo menos duas fases ou dois componentes, sendo geralmente uma fase polimérica denominada matriz polimérica e uma outra fase de reforço, normalmente na forma de fibras. O autor ainda acrescenta, que para a criação do material compósito ou do material conjugado necessita-se haver uma relação química e/ou física entre a matriz polimérica e o reforço, auxiliando a passagem de esforços mecânicos da matriz polimérica para o reforço. A princípio, a própria madeira pode ser considerada um material conformado: sua microestrutura corresponde, resumidamente, de fibras de celulose em meio a uma matriz de lignina.

Segundo Rodolfo Jr e John (2006), apesar de diversas similaridades, existem vários tipos de compósitos lignocelulósicos de polímeros, cada qual com suas particularidades. A diferença mais significativa se resulta a matriz polimérica selecionada e do tipo/quantidade de madeira incorporados.

Recomenda-se o uso do PVC, pois o mesmo, apresenta vantagens sobre os demais polímeros, no quais podemos citar:

- a) Maior módulo de elasticidade (maior rigidez) da matriz polimérica;
- b) Baixa inflamabilidade inerente do PVC: as resinas de PVC são compostas por 57% de cloro e 43% de etileno, o que as tornam inerentemente pouco inflamáveis, aspecto importante este na seleção de materiais para uso.
- c) Possibilidade de pintura: por obter cloro em sua estrutura química, o PVC é superficialmente bastante polar, principalmente se comparado a outros polímeros. Desta forma, produtos em compósito lignocelulósicos de PVC podem ser pintados sem a necessidade de tratamento superficial.

Resumidamente, o WPC consiste em uma mistura de madeira, PVC, resinas termoplásticas e outros aditivos (LAMPKOWSKI et al, 2015).

5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

A primeira etapa para a produção da madeira plástica é a coleta da matéria-prima. (AMARAL, 2009).

De acordo com Crookston et al (2011), a madeira pode ser utilizada de várias formas, porém, normalmente é utilizada em farinha de madeira (partículas finas). Ainda segundo o autor, também é possível o uso de madeira e PVC reciclados ou mesmo virgens para a produção do WPC.

Duas análises, a de Amaral (2009) e Paula e Costa (2008) sugerem que o aproveitamento do material pode ser um leve empeco inicial, dado que no Brasil a cultura de reciclagem internalizada é quase nula. No caso do reaproveitamento com a produção de madeira, é de suma importância que sejam oriundos de uma coleta seletiva, pois desta forma, eles já vêm mais limpos.

Segundo Mayer (2022), são utilizados duas variáveis do pó de madeira:

- a) Pó de madeira virgem: trata-se de um subproduto do beneficiamento da madeira (processo de laminação) de pinus tipo exportação, seca em estufa e livre de aditivos.
- b) Pó de madeira reciclado: trata-se do resíduo de operação de serragem que ocorre na própria fábrica, proveniente de painéis e chapas derivadas da madeira, que podem ser tanto de pinus, quanto eucalipto, com diversas densidades e aglomerantes (resinas sintéticas e lignina). Este pó também pode conter diversos outros produtos, tais como tintas, papeis melamínicos e plásticos (lâmina de pet). Estes resíduos são coletados das operações de serragem por meio de sugadores e posteriormente são moídos num triturador existente na fábrica.

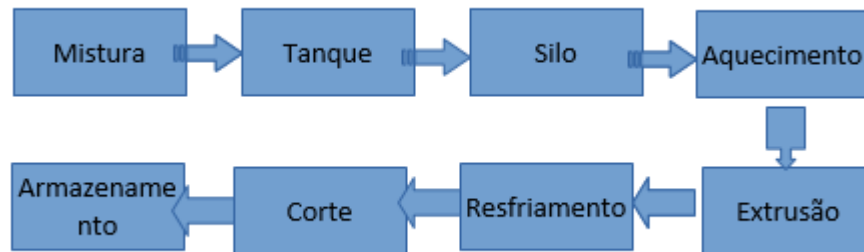
Segundo Guamá et al. (2008), um ponto importante a ser considerado, é o fato que depois da coleta ser realizada e o material plástico limpo, o mesmo deve ser separado por gênero (branco e colorido). Esse processo é de suma importância, uma vez que existem dois tipos de perfil de madeira no mercado. Os perfis de cores claras utilizam o plástico branco e os perfis de cores escuras o plástico colorido.

Segundo Mayer (2022), para a produção do PVC/Wood, os aditivos são dosados em massa, misturados previamente e armazenados em recipiente único. Os demais materiais são dosados em volume.

Os materiais são pré-aquecidos no misturador a uma temperatura equivalente a 113°C e armazenados em silos. Para o processo de extrusão, a mistura é aquecida a 160-180°C, temperatura na qual o material passa pelo molde que confere a forma básica da seção transversal do marco. Em seguida, a peça passa por um calibrador, onde o produto adquire as medidas do projeto e é resfriado com água na temperatura próxima a 8°C. Por fim, o excesso de água é

retirado por aspersores de ar, e então a peça é cortada por uma serra circular no comprimento desejado (MAYER, 2022).

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação do material



Fonte: Pormade (2022)

Segundo Amaral (2009), o material que sai da extrusora passa por um sistema de refrigeração, e é puxado por um “puxador”, resultando na madeira plástica. Por fim, o produto é serrado, cortado, parafusado, e está pronto para ser utilizado nas mais diversas aplicações.

A princípio, a geração de resíduos na produção de WPC é mínima ou mesmo nula, uma vez que o resíduo da madeira plástica pode ser reinserido no processo novamente (SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS, 2012).

6 UTILIZAÇÃO DO MATERIAL, VANTAGENS E SUAS LIMITAÇÕES

A utilização de polímeros sintéticos, que muitas das vezes dependem do petróleo, com fibras ou partículas provenientes de recursos naturais renováveis, permite adquirir materiais com custos competitivos e depender menos das reservas de petróleo (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

Compósitos lignocelulósicos de PVC, apresentam baixos valores de módulo de elasticidade na flexão, o que limita seu uso em aplicações estruturais, tais como vigas e colunas. Isto deve-se ao fato do PVC rígido, assim como grande parte dos polímeros orgânicos, apresentar baixo módulo de elasticidade se comparado a madeira. Entretanto, a aplicação deste material é viável em aplicações não estruturais, tais como perfis de decoração e acabamento (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

O material em estudo, poderá ser utilizado para possível substituição da madeira convencional, já utilizada na empresa para a produção de portas, esquadrias e afins. Podendo

ocupar o seu lugar ou tendo como opção o desenvolvimento de uma nova linha de produtos ou até mesmo a utilização em conjunto, melhorando produtos já existentes.

Exemplos na utilização variam desde a produção de perfis, como também a produção de marco, alizar, rodapé e montantes e palhetas para a porta, entre outros (MAYER, 2022).

Os principais ganhos ao usufruir de reforços lignocelulósicos em polímeros podem ser resumidos em baixa densidade, baixa abrasividade, possibilidade de incorporação de elevados teores resultando em elevada rigidez, manutenção da reciclabilidade, biodegradabilidade, ampla variedade de cargas reforçativas disponíveis em todo o mundo, oferta de trabalho no campo em uma economia rural não mais dependente somente da agricultura, baixo consumo de energia e baixo custo (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

Entretanto, esta tecnologia também possui suas limitações. E dentre as principais delas, a impossibilidade de processamento de polímeros carregados com reforços lignocelulósicos em temperaturas muito elevadas, devido a susceptibilidade da carga lignocelulósica sofrer degradação térmica (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

Outra limitação, seria a alta capacidade de absorver umidade, na qual resulta em inchamento das partículas e perda de estabilidade dimensional. Esta que pode ser reduzida através do correto encapsulamento das partículas pela matriz polimérica, sendo que este encapsulamento torna-se mais efetivo quanto maior a capacidade de adesão da matriz polimérica à superfície das mesmas. A alta capacidade de absorção de umidade também traz dificuldades no processamento, tornando-se necessário a secagem prévia do reforço (madeira) e uma série de cuidados para a manutenção dos baixos níveis de umidades adquiridos com esta operação (RODOLFO JR. e JOHN, 2006).

7 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da linha de materiais de WPC, se faz necessário a utilização de maquinários e materiais, porém, para realização dos testes iniciais, consegue-se adaptar o processo por conta da menor quantidade de produtos utilizados.

O resíduo de madeira utilizado como reforço para desenvolvimento do compósito é proveniente da espécie *Eucalyptus* e pertence à família *Myrtaceae*. Este que é conhecido popularmente como Eucalipto.

Figura 2 – Resíduo de madeira coletado na empresa MGM



Fonte: O autor (2022)

Como matriz polimérica foi utilizado a resina de PVC Norvic SP 750RA, que é um homopolímero de PVC com ótima processabilidade, que facilita a incorporação e homogeneização de cargas.

O estabilizante térmico utilizado foi o Gotalube GL-4579, que é antioxidante e estabilizante a base de Cálcio/Zinco cuja função é dar proteção térmica e oxidativa (recomendado para polímeros). Em conjunto foi utilizado também o antioxidante Gotalube GL-9414, cuja função é a mesma, porém, este é recomendado para madeira. Fora utilizado também, o plastificante Gotalube GL-1000, para dar mais flexibilidade ao material e melhora na reutilização do mesmo.

Como auxiliar de processamento acrílico foi utilizado o Donglin DL-635G, que é comumente utilizado em compostos de PVC e permite a quebra de partículas de resina de forma mais eficiente, acelera a fusão, aumenta a resistência do fundido e melhora o acabamento superficial do produto final. Já como modificador de impacto acrílico, fora utilizado o Donglin DL-51G, que possui a função de melhorar a resistência ao impacto e a resistência as intempéries dos produtos acabados de PVC. Além disso, melhora a processabilidade e o acabamento superficial.

Como absorvedor de ultravioleta a base de benzotriazol, utilizou-se Tinuvin 328, projetado para cumprir os requisitos de desempenho e durabilidade média de revestimentos industriais.

Foi utilizado também, a cera de polietileno como lubrificante, que é uma dos melhores e mais recomendadas para função requerida e como agente de acoplamento, o aditivo Masterfill, que melhora a adesão de cargas em um composto polimérico, aumentando sensivelmente as propriedades mecânicas do mesmo.

Para os teste iniciais, utilizou-se apenas uma câmara de mistura Rheomix, esta que é ideal para processos industriais em pequena escala, podendo utilizar em sua mistura, polímeros, aditivos, e cargas.

Antes de iniciarmos o processo, a madeira passou por um processo de beneficiamento, este que inclui peneiramento e em seguida secagem, para remoção do excesso de umidade. A secagem pode ser realizada de duas maneiras:

- a) Através de estufa e após secagem incorporar o lubrificante funcional;
- b) Através da câmara de mistura, onde o lubrificante funcional e o agente de acoplamento é incorporado durante a secagem.

O lubrificante funcional e o agente de acoplamento, visam reduzir a tendência de reabsorção de umidade.

Em primeiro momento, para preparação do compósito, a resina de PVC é misturada com o estabilizante térmico, o antioxidante sólido, o plastificante líquido, o auxiliar de processamento e o modificador de impacto. Posteriormente, a mistura obtida é submetida ao processamento em câmara de mistura Rheomix na temperatura de 160°C, utilizando velocidade igual a 60 rpm, com a duração de 4 minutos. Em seguida, a madeira beneficiada é adicionada e a mistura continua por mais 4 minutos para a formação dos compósitos.

Os teores representados na tabela, encontram-se denotados em ppr (partes por resina), que é partes em peso de cada ingrediente em cada 100 partes em peso de resina).

Tabela 1 – Formulação do compósito de PVC

Ingrediente	Teor (ppr)	Função na formulação	Fornecedor
Norvic SP 750RA	100	Resina de PVC, valor K 60 (matriz polimérica)	Braskem
Gotalube GL-4579	4	Estabilizante térmico base cálcio/zinco	Gotalube Aditivos
Gotalube GL-9414	4	Antioxidante sólido	Gotalube Aditivos
Gotalube GL-1000	4	Plastificante líquido	Gotalube Aditivos
Donglin DL-635G	1	Auxiliar de processamento base acrílico	Vinyl Arena
Donglin DL-51G	8	Modificador de impacto base acrílico	Vinyl Arena
Tinuvin 328	0,7	Absorvedor de UV base benzotriazol	Additiva

Fonte: O autor (2022)

Para finalizar, a mistura foi colocada em um molde, levada para um forno a uma temperatura de 200°C, onde ficou por mais 8 minutos. Em seguida foi resfriada em água e por fim extraído o produto.

Figura 3 – Compósito de PVC/wood



Fonte: O autor

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi proposto a realização de ensaios de dureza, tração, entre outros com o material, porém, não seria tão interessante, já que o material não sofre nenhum tipo de esforço em sua utilização e através de estudos já é possível ter um embasamento de que o WPC se sobressai a madeira tradicional nesses aspectos.

Pensando por este caminho, e respeitando um dos objetivos do projeto, que é a comparação com a madeira tradicional, material que é utilizado hoje na empresa, teve-se a ideia de realizar alguns testes que seriam mais úteis a função que o produto irá desempenhar, como por exemplo, deixar ambos materiais ao intemperismo, e pode-se notar que a madeira tradicional, sofre mais desgaste. O mesmo acontece quando deixamos ambos os materiais mergulhados em água, a madeira absorve a água, o que acaba ocasionando muitas vezes inchaço e até rachaduras, e podendo gerar bolor e mofo, já o WPC não tem esses problemas.

Outro teste feito foi cortar e parafusar o material, nesse quesito, pode-se fazer isso em ambos, porém, o WPC gera muito menos resíduo, sujeira e não tem o perigo de soltar farpas.

Também foi realizado o teste de personalização, onde o WPC foi pintado, e esteticamente falando, ficou bem superior a madeira, demonstrando mais uma vantagem.

Dentre outras vantagens das quais podemos citar, o WPC é fabricado com sobras de madeira e as sobras do WPC podem ser reutilizadas novamente, reiniciando o processo, e tornando-o sustentável e com um ótimo custo-benefício. Além de tudo isso, o produto tem uma alta durabilidade, podendo durar até 50 anos.

A desvantagem do processo seria o ajuste fino da composição, algo que é um pouco complexo e trabalhoso, devido a porcentagem a ser utilizado de cada produto e o momento certo de misturá-los. Também temos o fato de que é um produto relativamente novo no mercado nacional, existindo apenas uma norma a seguida, dificultando assim a realização de ensaios e estudos.

Fato interessante é que a cor do PVC/wood é influenciada diretamente ao pó de madeira utilizado.

9 CONCLUSÃO

Em primeiro momento, a empresa achou inviável o desenvolvimento de uma linha de materiais de PVC/wood, devido ao alto investimento inicial em maquinários, o preço dos produtos utilizados no processo e o ajuste fino da linha para que o material possa ser produzido com qualidade. Porém, após finalizado o estudo e desenvolvimento do material, a empresa, juntamente com o setor de engenharia, ficou bem satisfeito com o resultado obtido.

O experimento relatado demonstrou que quando realizado de acordo com o procedimento detalhado, pode ser eficiente, mesmo que o processo seja adaptado apenas para testes.

Os resultados obtidos neste estudo indicam que o processo é eficiente e pode ser uma boa alternativa para a reutilização do pó da madeira. Também pode-se notar, que o PVC/wood consegue substituir e ser superior a madeira em quase todos os aspectos.

Por ser um produto relativamente novo no mercado nacional, é mínimo o conteúdo encontrado sobre o mesmo.

A primeira e única diretriz nacional referente ao produto entrou em vigor em dezembro de 2021, sendo a Diretriz SiNAT nº 016, para Marcos de portas de compósito de madeira e polímero para edificações, onde a empresa pode-se basear, já que os produtos são para o mesmo fim.

Sugere-se para próximos estudos, o desenvolvimento do material utilizando quantidades diferentes de madeira, porém, com os estudos realizados, sabe-se que as propriedades mecânicas do PVC/wood é dependente da proporção de madeira utilizada, sendo este, o principal fator que a afeta. A adição de madeira tende a aumentar o módulo de elasticidade do material, porém, não causa alteração significativa em sua resistência.

Por fim, sugere-se também a realização de ensaio de impacto no PVC/wood e na madeira, para fins comparativos e a medição do teor de umidade da madeira, após a coleta e após o beneficiamento, secagem e incorporação dos produtos.

REFERÊNCIAS

- AGNELLI, José Augusto Marcondes. **Curso de aperfeiçoamento em tecnologia de polímeros: Introdução a materiais poliméricos**. São Carlos. Universidade Federal de São Carlos - UFSCar/SP, 2000.
- ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 56., 1998, Atlanta. Anais eletrônicos [...]. Atlanta: Society of Plastics Engineers, 1998.
- ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 57., 1999, New York. Anais eletrônicos [...]. Atlanta: Society of Plastics Engineers, 1999.
- ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE, 60., 2002, San Francisco. Anais eletrônicos [...]. Atlanta: Society of Plastics Engineers, 2002.
- ASTM Standard D3878-01. **Standard terminology for composite materials**. ASTM International. West Conshohocken, Pa., U.S.A., 2001.
- BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. **Transferência de tecnologia ambientalmente saudável, cooperação e fortalecimento institucional**. In: Conferência das nações unidas sobre o meio ambiente e desenvolvimento: Agenda 21. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/7706/agenda21.pdf?sequence=2>. Acesso em: 30 maio. 2022.
- CROOKSTON, Kevin; YOUNG, Timothy Mark; HARPER, David; GUESS, Frank. **Statistical reliability analyses of two wood plastic composite extrusion processes**. Reliability Engineering & System Safety, 2011.
- GUAMÁ, Fernando Francisco Miranda Corrêa de; COSTA, Raphaella Vasconcellos de Alencar; ROCHA, Henrique Lobianco; ISENSEE, Fábio Venceslau; FUTURO, Leonardo Leite. **Lixo Plástico: de sua produção até a madeira plástica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 2008, Rio de Janeiro, RJ. Anais [...] Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2008. p. 2 - 13. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_542_11394.pdf. Acesso em: 30 maio. 2022.
- HILLIG, Éverton. **Viabilidade técnica de produção de compósitos de polietileno (HDPE) reforçados com resíduos de madeira e derivados das indústrias moveleiras**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná - UFPR/PR, 2006. Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2006/t200_0243-D.pdf. Acesso em: 30 maio. 2022.

IULIANELLI, Gisele; TAVARES, Maria. **Propriedades mecânicas de compósitos PVC/pó de madeira.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu, PR. Anais [...] Rio de Janeiro, RJ: Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano, 2009. p. 1 – 7. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/517.pdf>. Acesso em: 07 novembro. 2022.

LAMPKOWSKI, Juliana Cristina Rubio; LAMPKOWSKI, Marcelo; LEÃO, Alcides Lopes. **Wood Plastic Compounds (WPC) products and its contribution to bioeconomy: a description of the current scenario in Brazil.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 4., 2015, São Paulo, SP. Anais [...] São Paulo, SP: Universidade Nove de Julho, 2015. p. 1 – 14. Disponível em: <https://singep.org.br/4singep/resultado/239.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2022.

MAYER, Miriam. **Questionário sobre o processo de produção de WPC na empresa Pormade.** Destinatário: André Luiz Zanin. [S. I.], 30 maio. 2022. 1 mensagem eletrônica.

OLIVEIRA, Evelyn Martins Reale de; OLIVEIRA, Emilly Martins Reale de; COSTA, Raissa Andrade. **Madeira plástica.** Salvador: Instituto Euvaldo Lodi - IEL/BA, 2013. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mjc2Nzg=>. Acesso em: 02 maio. 2022.

RODOLFO JR, Antônio; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento de PVC reforçado com resíduos de pinus para substituir madeira convencional em diversas aplicações.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP/SP. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/WYCPX6yYVFb5Yw7sTGzscgb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 maio. 2022.

RODOLFO JR, Antônio; JOHN, Vanderley Moacyr. **Estudo da processabilidade e das propriedades de PVC reforçado com resíduos de Pinus.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8., 2005, Águas de Lindóia, SP. Anais [...] Águas de Lindóia, SP: Associação Brasileira de Polímeros, 2005. p. 18 - 19. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2005/PDF/129.pdf>. Acesso em: 02 maio. 2022.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Compostos termoplásticos de madeira.** Resposta Técnica elaborada por: “Lorena de Oliveira Silva”. Brasília: CDT/UnB, 2008. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br>. Acesso em: 31/05/2022.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS. **Legislação para a indústria de madeira plástica.** Resposta Técnica elaborada por: “Ingrid de Souza Freire”. Brasília: CDT/UnB, 2012. Disponível em: <http://www.respostatecnica.org.br>. Acesso em: 31/05/2022.

ANEXO

Ficha técnica da Resina de PVC – Norvic SP 750RA



Folha de Dados
Mar/21

Policloreto de Vinila SP750RA

Descrição:

NORVIC® SP 750RA é um homopolímero de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão, com ótima processabilidade que facilita a incorporação e homogeneização de cargas, de rápida gelificação, elevada fluidez do fundido, alta transparência e brilho, excelente estabilidade térmica e boa coloração inicial.

Aplicações:

Conexões Hidráulicas, Perfis Rígidos

Processos:

Calandragem, Extrusão Geral, Moldagem por Injeção

Especificações Técnicas - Vinílicos

Característica	Método	Unidades	Valores
Valor K	NBR 13610	-	58,5 - 60
Materiais Voláteis	JIS K-6721	%	<=0,3
Granulometria > 250 µm	ASTM D-1921-A	%	<=3
Granulometria > 63 µm	ASTM D-1921-A	%	>=95
Densidade Volumétrica	ASTM D-1895-A	g/cm³	0,54 ± 0,03

Observações Finais:

1. As informações aqui contidas são dadas de boa fé, indicando valores típicos obtidos em nossos laboratórios, não devendo ser consideradas como absolutas ou como garantia. Apenas as propriedades e os valores que constam no Certificado de Qualidade devem ser considerados como garantia de produto.
2. Para informações regulatórias do produto, consulte o Documento Regulatório ou entre em contato com a área de Serviços Técnicos.
3. Para informações de segurança, manuseio, proteção individual, primeiros socorros e disposição de resíduos, consultar FISPQ - Ficha de Informações de Segurança do Produto Químico.
4. Os valores constantes nesse documento poderão sofrer alterações sem comunicação prévia da Braskem.
5. Em caso de dúvidas na utilização favor entrar em contato com a nossa área de Serviços Técnicos - PVC, através do e-mail pvc@braskem.com.br.

Ficha técnica do Estabilizante Térmico – Gotalube GL-4579

**GOTALUBE ADITIVOS LTDA.**

Rua Morato de Oliveira, 501 - V. N. Cachoeirinha
 CEP 02764-010 - São Paulo - SP - Fone: 11 3851 8577
www.gotalube.com.br - gotalube@gotalube.com.br

GOTALUBE GL - 4579**ESTABILIZANTE CALCIO E ZINCO**

GOTALUBE GL - 4579 É um antioxidante e estabilizante de Ca Zn sólido cuja função é dar proteção térmica e oxidativa aos polímeros de borrachas e plásticos (PVC) .

Essa oxidação é um processo que ocorre durante a transformação do produto final principalmente quando está em temperaturas elevadas.

Devido sua plasticidade, auxilia no fluxo dos polímeros plásticos, borrachas, tintas, adesivos quando são processados na faixa de 90 oC a 300 oC.

PROPRIEDADES

APLICAÇÃO Recomenda-se o uso de 2 % a 4 % sôbre o composto.

Temperatura ideal de mistura = 120 o C

DESCRIÇÃO Composto de complexo orgânico de base Cálcio e Zinco .

ESTADO FÍSICO : Sólido - pó fino , cor branco .

Ficha técnica do Antioxidante Sólido – Gotalube GL-9414

**GOTALUBE ADITIVOS LTDA.**

Rua Morato de Oliveira, 501 - V. N. Cachoeirinha
CEP 02764-010 - São Paulo - SP - Fone: 11 3851 8577
www.gotalube.com.br - gotalube@gotalube.com.br

GOTALUBE GL - 9414**ANTIOXIDANTE**

GOTALUBE GL - 9414 É um antioxidante sólido cuja função é dar proteção térmica e Oxidativa aos polímeros e borrachas termoplásticas. Essa oxidação é um processo que ocorre durante a transformação do produto final, principalmente quando está em temperaturas elevadas.

Devido sua plasticidade, auxilia no fluxo dos polímeros plásticos, borrachas, tintas, adesivos quando são processados na faixa de 90 °C a 200 °C.

PROPRIEDADES:

- APLICAÇÃO** : Recomenda-se o uso de 0,2 % a 2 % sobre o composto.
- DESCRIÇÃO** : Composto de complexo orgânico de base fenólica antioxidante Protetivo à luz e ao calor dos polímeros.
- ESTADO FÍSICO** : Sólido - pó fino, cristalino, cor branco.
-

Ficha técnica do Plastificante Líquido – Gotalube GL-1000

GOTALUBE GL - 1000
PLASTIFICANTE ATÓXICO

Gotalube GL-1000 é um plastificante monomérico produzido a partir das matérias primas vegetais renováveis.

Gotalube GL-1000 tem excelente poder de solvatação sendo indicado para diversas aplicações dentre elas a plastificação de cloreto de polivinila (PVC) puro ou em mistura com outros plastificantes.

Gotalube GL-1000 é um produto Biodegradável com manuseio seguro para o usuário e para o meio ambiente.

CARACTERÍSTICAS:

Análises	Especificação
Densidade à 25°C	0,987 – 0,993
Oxigênio Oxirânico	6,500 – 7,000 (%)
Índice de Iodo	0,000 – 4,000 (cgl2/g)
Índice de Acidez	0,000 – 1,000 (mg KOH/g)
Umidade (%)	0,000 – 0,100 (%)
Cor Alpha	0,000 – 200,000 (UC)

Ficha técnica do Auxiliar de Processamento – Donglin DL-635G



DONGLIN™ DL-635G

Auxiliar de Processamento Acrílico

Descrição do Produto

DONGLIN™ DL-635G é um auxiliar de processamento acrílico com alta massa molar. A sua utilização em compostos de PVC permite quebrar as partículas da resina de forma mais eficiente, acelerar a fusão, aumentar a resistência do fundido e melhorar o acabamento superficial do produto final.

O aumento da resistência do fundido e promoção da fusão são 10 a 15% maiores que outros auxiliares de processamento de uso geral, o que permite a utilização de uma menor dosagem.

Por conta da maior resistência e elasticidade do fundido, o produto pode atuar como regulador de expansão, propiciando uma estrutura de células mais uniforme e uma densidade reduzida.

DONGLIN™ DL-635G pode ser utilizado em aplicações de PVC opaco, como em tubos, perfis, laminados e produtos expandidos.

Propriedades do material	Unidade	Valor
Aparência	-	Pó Branco
Teor de Voláteis	%	≤ 1,5
Densidade aparente	g/cm ³	0,40 – 0,50
Retenção em malha 40 Mesh	%	≤ 2,0
Viscosidade Intrínseca	-	6,0 – 7,0

Ficha técnica Modificador de Impacto – Donglin DL-51G



DONGLIN™ DL-51G

Modificador de Impacto Acrílico

Descrição do Produto

DONGLIN™ DL-51G é um modificador de impacto acrílico com estrutura *core shell*.

DONGLIN™ DL-51G possui a função de melhorar a resistência ao impacto e a resistência às intempéries dos produtos acabados de PVC. Além disso, melhora a processabilidade e o acabamento superficial.

DONGLIN™ DL-51G pode ser utilizado em aplicações de PVC opaco, utilizadas em ambientes internos e externos, como perfis, tubos, chapas e produtos injetados.

Propriedades do material	Unidade	Valor
Aparência	-	Pó Branco
Teor de Voláteis	%	≤ 1,5
Densidade aparente	g/cm ³	0,40 – 0,60
Retenção em malha 20 Mesh	%	≤ 2,0
Impurezas	cm ² (10x10)	≤ 20,00