



Serviço Público Federal
Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional
Departamento de Tecnologia Sucroalcooleira



HUGO DA SILVA FIGUEIREDO

**ESTUDO SOBRE A ADIÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA
PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

JOÃO PESSOA

2019

HUGO DA SILVA FIGUEIREDO

**ESTUDO SOBRE A ADIÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA
PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Curso de Tecnologia em Produção
Sucroalcooleira, do Centro de Tecnologia e
Desenvolvimento regional, da Universidade Federal
da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção
do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes

JOÃO PESSOA

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F475e Figueiredo, Hugo da Silva.

ESTUDO SOBRE A ADIÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA
PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL / Hugo
da Silva Figueiredo. - João Pessoa, 2019.
48 f. : il.

Orientação: Kelson Carvalho Lopes.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Bagaço. Cana-de-açúcar. Gesso. Placas de Forro. I.
Lopes, Kelson Carvalho. II. Título.

UFPB/BC

ESTUDO SOBRE A ADIÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA
PRODUÇÃO DE PLACAS DE GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

Hugo da Silva Figueiredo

TCC aprovado em 3/5/19 como requisito para a conclusão do curso de
Tecnologia em Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Orientador)



Prof.ª Dr.ª. Ângela Lucinia Urtiga Vasconcelos - (UFPB – Membro interno)



Prof. Dr. Fábio de Melo Resende - (UFS – Membro externo)

João Pessoa, 03 de maio de 2019.

*Dedico este trabalho a minha mãe
Marizete da Silva Figueiredo,
Maior incentivadora e pessoa que mais amo na vida.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pois sem seu amor eu não estaria aqui. Agradeço a toda minha família em especial aos meus pais Serafim e Marizete, por todo incentivo e apoio, sempre me proporcionando uma boa educação. Agradeço também aos meus queridos irmãos. Muito obrigado pela paciência ao longo desses anos comigo, essa conquista é de todos vocês.

A minha namorada Jessiany, muito obrigado por estar junto comigo em todos os momentos, com você me sinto mais forte. Te amo.

Ao meu amigo Wagner que concedeu o seu tempo, conhecimento e ferramentas na fabricação das placas de gesso, auxílio fundamental e indispensável.

Agradeço imensamente aos amigos de faculdade e CA, em especial a Anderson, Arthur e Elton, sem essa amizade nossos momentos difíceis não seriam facilmente superados, com muita alegria e parceria, tornando essa grande jornada leve e prazerosa.

Ao meu orientador Kelson Carvalho pelo comprometimento, paciência e pelo precioso tempo cedido em prol desse trabalho de conclusão de curso.

Destilaria Miriri localizada no Distrito de Santa Rita, Fazenda Miriri/PB pelo fornecimento do Bagaço de cana-de-açúcar.

Por fim, agradeço a todos os técnicos e aos professores do corpo docente da Universidade Federal da Paraíba, com quem tive o imenso prazer de ouvir todos os ensinamentos e incentivos para me tornar um excelente profissional no futuro.

*Com carinho,
Hugo da Silva Figueiredo.*

*“Não cruze os braços diante de uma dificuldade,
pois o maior homem do mundo morreu de braços abertos.”*

Bob Marley

RESUMO

A produção e consumo de cana-de-açúcar pelo setor sucroalcooleiro cresce acentuadamente a cada dia, na safra 2017/2018 a Paraíba chegou a moer 5,9 mil toneladas de cana, gerando também um grande número de resíduos. Cada resíduo tem o seu destino final, eles são reaproveitados no processo produtivo, mas novas maneiras de reuso são experimentadas e apresentadas, como forma de um melhor aproveitamento dos materiais e a busca pela diminuição dos impactos ambientais causados por eles. O objetivo desse trabalho de conclusão de curso é utilizar o maior resíduo do setor sucroalcooleiro, o bagaço de cana, na confecção de placas de forro para o uso na construção civil. Foram confeccionadas placas com dimensões de 200 x 200 mm com a mistura de gesso e bagaço com granulometria menor que 290 mm. Nas amostras foram avaliadas as resistências mecânicas e físicas, comparadas com a placa de gesso comercial. A resistência mecânica das placas com bagaço foi similar ao gesso comercial chegando a 1,6 Mpa de carga de flexão. Na resistência física as amostras com fibra absorveram mais água, contudo, ainda se mantiveram com menor peso, não comprometendo a aplicabilidade das placas nos forros da construção civil. A análise dos resultados mostrou a viabilidade na junção do bagaço e o gesso, oferecendo resistência e confiabilidade na produção das placas.

Palavras-chave: Bagaço. Cana-de-açúcar. Gesso. Placas de forro. Resíduo. Construção civil.

ABSTRACT

The production and consumption of sugarcane by the sugar and alcohol sector grows sharply every day, in the 2017/2018 harvest, Paraíba even grinded 5.9 thousand tons of sugarcane, generating a large number of wastes. Each waste has its final destination, they are reused in the productive process, but new ways of reuse are tried and presented, as a way to better use of the materials and the search for the reduction of the environmental impacts caused by them. The objective of this course completion work is to use the largest residue of the sugar and alcohol sector, sugar cane bagasse, in the manufacture of lining plates for use in civil construction. Plates with dimensions of 200 x 200 mm were made with the mixture of gypsum and bagasse with particle size less than 290 mm. In the samples, the mechanical and physical resistance were evaluated, compared to the commercial plasterboard. The mechanical strength of the bagasse plates was similar to the commercial plaster, reaching 1.6 MPa of flexural load. In the physical resistance the samples with fiber absorbed more water, however, they still remained with lower weight, not compromising the applicability of the plates in the linings of the civil construction. The analysis of the results showed the viability of the bagasse and gypsum junction, offering resistance and reliability in the production of the plaques.

Key words: Bagasse. Sugar cane. Plaster. Lining plates. Residue. Civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Montagem de forro residencial _____	18
Figura 2 - Pátio de estocagem de bagaço _____	19
Figura 3 - Limpeza manual do bagaço _____	22
Figura 4 - Secagem do bagaço _____	23
Figura 5 - Moagem do bagaço no moinho de facas _____	23
Figura 6 - Peneiramento do bagaço _____	24
Figura 7 - Proporção das amostras _____	25
Figura 8 - Divisão da placa _____	26
Figura 9 - Montagem do molde para confecção das placas _____	27
Figura 10 - Análise de resistência a flexão em 3 pontos _____	30
Figura 11 - (a) Experimento fatorial 2^2 , (b) Experimento composto central com $\alpha = 1$, (c) Experimento de composição central com $\alpha = \sqrt{2}$. _____	31
Figura 12 - Coeficiente de absorção _____	37
Figura 13 - Fator de Flexão _____	38
Figura 14 - Produção da placa 65x65cm com gesso e bagaço _____	39
Figura 15 - Superfície de resposta dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço. _____	41
Figura 16 - Curvas de contorno dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço. _____	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central	26
Tabela 2 - Composição das placas	27
Tabela 3- Experimentos de composição central usuais	33
Tabela 4 - Dados do cálculo de flexão	38
Tabela 5 - Peso das placas	39
Tabela 6 - Resultados dos fatores de flexão, usado para gerar a superfície de resposta, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço	40

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 GESSO	16
3.1.1 O uso do gesso na construção civil	17
3.1.2 Forros	17
3.2 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	18
3.2.1 Tipos de reuso do bagaço	19
3.2.1.1 Ração animal	19
3.2.1.2 Cogeração de energia	19
3.2.1.3 Etanol de Segunda Geração	20
3.2.1.4 Cinzas do bagaço	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1 MATÉRIAS-PRIMAS	22
4.1.1 Caracterização das matérias-primas	22
4.1.1.1 Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar	22
4.1.1.2 Gesso	24
4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	25
4.2.1 Determinação da massa de gesso e bagaço	25
4.2.2 Preparação das placas	26
4.2.3 Preparação de amostras para os ensaios	28
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS	28
4.3.1 Caracterização física	28
4.3.1.1 Absorção	28
4.3.2 Caracterização mecânica	29
4.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos	29

4.4 ELABORAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA INICIAR A FERMENTAÇÃO	30
4.4.1 Experimento composto central	30
4.5 SUPERFÍCIE DE RESPOSTA	34
4.5.1 Introdução a modelos de superfície de resposta	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS	37
5.1.1 Caracterização física	37
5.1.1.1 Absorção	37
5.1.2 Caracterização mecânica	38
5.1.2.1 Resistência à flexão em três pontos	38
5.2 PESO DAS PLACAS	39
5.3 SUPERFÍCIES DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTORNO	40
6 CONCLUSÕES	43
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

O ciclo da cana-de-açúcar no Brasil teve início em meados do século XIV, quando as primeiras mudas foram plantadas. Logo os engenhos, unidades de produção de açúcar, foram implantadas e iniciaram um processo de expansão territorial para o cultivo, ocupando todo o litoral. Mais de cinco séculos se passaram, e hoje o crescimento da cultura canavieira atinge números surpreendentes. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, na última safra tivemos uma produção de cana de 620 milhões de tonelada (NOVACANA, 2019). Nosso território apresenta condições propícias para o desenvolvimento dessa cultura sustentável e renovável, devido a sua diversidade climática e as reservas de água em abundância, proporcionando inúmeros tipos de cultivos num mesmo ano. O plantio de cana é feito em praticamente quase todo o território brasileiro, concentrando sua força econômica na região sudeste.

Da cana-de-açúcar surgem vários produtos de diferentes utilidades, devido sua capacidade de acumular grandes concentrações de sacarose, o que a torna umas das principais culturas brasileiras. Com ela produzimos combustíveis, açúcares e aguardente em grande quantidade. Para cada tonelada de cana, a produção das usinas chega em torno de 75 litros de etanol e cerca de 100 quilos de açúcar (CARDOSO, 2006).

O processo sucroalcooleiro vem se reestruturando com novas tecnologias e em processos na área de plantio. Novos caminhos para o preparo de solo, automação, melhoramento genético e adição de transportes variados foram incorporados e atualmente o país tem cerca de 400 usinas e mais de 70 mil fornecedores de cana-de-açúcar procurando e estudando meios para o desenvolvimento do setor (ECONOMIA, 2009).

A indústria gera um grande número de resíduos, que são inseridos novamente no ciclo produtivo, como o bagaço para cogeração de energia elétrica, a vinhaça e a torta de filtro como substitutos de insumos químicos na lavoura. Esse aproveitamento é essencial para baixar o custo da produção e evitar o depósito impróprio na natureza, contaminando o solo e os rios (CARDOSO, 2006).

O bagaço de cana-de-açúcar é o subproduto mais atrativo do setor sucroalcooleiro, devido ao seu poder calorífico, virou o principal insumo para a garantia de autossuficiência energética das usinas, servindo como combustível no processo produtivo da fabricação de açúcar e do álcool. Sua utilidade para a geração de bioeletricidade, a influência direta na venda de crédito de carbono, alimentação animal, adubação orgânica e produção de álcool de segunda geração, o credencia a um maior investimento em pesquisas e consequentemente buscas por outros produtos (ALVES, 2013).

Nas usinas de açúcar e álcool 90% do bagaço é reutilizado para produção de energia, processo denominado cogeração. Para alimentar as caldeiras, o bagaço é a fonte energética utilizada, resultando na geração simultânea de energia térmica e mecânica a partir do vapor (ALVES, 2013).. Apesar desse grande reaproveitamento do bagaço em busca da autossuficiência elétrica por parte das usinas, ainda é expressiva a quantidade de bagaço que fica inutilizado nos pátios de estocagem esperando uma destinação final.

A construção civil é responsável por possuir o maior resíduo sólido da área urbana, oriundo de serviço de alvenaria, acabamento ou por algum tipo de demolição. Por produzir o maior número de resíduos da sociedade e ocupar o território para construir e se desenvolver, este setor é o maior causador dos impactos ambientais no mundo (ROSSO, 2016).

O gesso é um dos materiais mais utilizados na construção civil, sua empregabilidade em vedações internas, paredes, forros e revestimentos são fundamentais para o crescimento do setor. Com tantas utilizações no canteiro de obra, o gesso integra a lista dos materiais que mais geram resíduos, mas um dos únicos produtos que pode ser reaproveitado de diferentes formas (DRYWALL, 2012).

Nesse contexto, o uso de tecnologias que buscam por soluções alternativas para qualquer tipo de resíduo vem crescendo, visando reduzir o impacto ambiental e buscando a sustentabilidade.

Este trabalho teve como finalidade buscar a junção de dois materiais, em prol de mudanças em um produto já existente, o tornando sustentável.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar aspectos tecnológicos de uma placa de forro para construção civil.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Produzir as placas de gesso/bagaço nas diferentes proporções destas duas matérias-primas;
- Caracterizar o bagaço de cana-de-açúcar com uma granulometria similar ao do gesso;
- Avaliar e comparar as alterações provocadas nas propriedades físicas e mecânicas das placas com a incorporação do bagaço;
- Incentivar a utilização de bagaço na indústria da construção civil;
- Fortalecer o uso de novas tecnologias que além de reduzirem a geração de resíduos, atribuam o emprego de produtos naturais e recicláveis.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GESSO

O gesso é um aglomerante obtido de um mineral chamado gipsita, que é um sulfato de cálcio bi hidratado ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que existe em diversas regiões do mundo como forma de rocha natural. A facilidade de se desidratar e se reidratar são características peculiares que a gipsita possui, esse mineral perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato semi hidratado de cálcio ($\text{Ca SO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$). Para se obter o gesso é necessário extrair a rocha de gipsita, diminuir seu tamanho em processos de trituração e finalmente a queima do material (ADALPHO, DE FREITAS, & BENVINDO, 2008).

No Brasil, 90% do gesso é proveniente do Estado de Pernambuco, na região do Araripe. O polo gesseiro do Araripe está situado no extremo oeste de Pernambuco, esta região abriga um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, sendo um dos mais propícios em economia mineral. O polo gesseiro de Pernambuco é formado por 18 minas em atividade, 69 unidades industriais de calcinação e 250 indústrias de pré-moldado (ADALPHO, DE FREITAS, & BENVINDO, 2008).

No mercado gesseiro, existe toda uma cadeia produtiva que envolve a mineração e beneficiamento da gipsita, comercialização e distribuição do gesso, empresas da construção civil e de máquinas e ferramentas, fabricantes de explosivos, indústria química e fabricantes de embalagens, gerando cerca de 12.000 empregos diretos e 60.000 empregos indiretos (CINCOTTO, AGOPYAN & FLORINDO, 1988).

3.1.1 O uso do gesso na construção civil

Devido a ser um aglomerante que depois de misturado a água, endurece e adquirir resistência, o uso do gesso é cada vez maior na construção civil. Sua principal característica é conseguir aderir-se a alvenaria e concreto, diferentemente de argamassas que precisam da aplicação de chapisco. Além de ser de fácil moldagem, ele obtém boas propriedades térmicas e acústicas, é isolante contra a propagação do fogo, tem menor custo e com a sua aplicação é possível iniciar o processo de pintura mais cedo (GOMES, PAULA, & BESSA, 2013).

O gesso é um material ligeiramente solúvel em água o que leva à sua deterioração quando exposto à água. Assim, o gesso é inadequado para aplicações em exteriores e em zonas de elevada humidade. Sua aplicabilidade se limita a lugares que não entrem em contato com a água, pois pode dissolver. Sua principal participação é para áreas internas residenciais e escritórios (DRYWALL, 2012).

3.1.2 Forros

Forros de gesso são utilizados atualmente em edifícios residenciais e comerciais para ocultar instalações presas ao teto dos compartimentos ou para criar detalhes e iluminação diferenciada. Cada tipo de forro se adequa a um contexto específico (HECK, 2010).

É cada vez mais popular a utilização das placas de gesso em construções e reformas no Brasil. Isso se deve à praticidade e aos benefícios desse recurso, que pode facilitar instalações elétricas, colocação de luzes, proteção térmica e acústica. Além disso, sua colocação é bastante simples e fornece um acabamento muito bonito ao ambiente (ROSSO, 2016).

No mercado existem dois tipos de forro de gesso:

- Placas convencionais no formato de 60x60cm ou 65x65cm com encaixe do tipo macho e fêmea, fixadas por arames presos no teto;
- Chapas acartonadas (com aplicação de papel cartão em ambas as faces), que se empregam em tamanhos maiores.

Figura 1 - Montagem de forro residencial



Fonte: Eso (2010).

3.2 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar é a fração de biomassa que resulta dos processos de limpeza, preparo e extração do caldo de cana. Esse resíduo fibroso é composto por aproximadamente 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina, que juntas formam mais de 75% da biomassa vegetal e confere a resistência mecânica à planta. A proporção de fibra depende do tipo de cana-de-açúcar utilizada, tipo de solo onde a cana é cultivada, procedimentos de colheita e a realização da queima do canavial. As variedades comumente utilizadas no Brasil produzem entre 270 e 290 kg de bagaço por tonelada processada (SANTOS, BORÉM, & CALDAS, 2011).

Fibra e açúcar, são os componentes da cana-de-açúcar que ficam no bagaço, tornando-o uma matéria orgânica vegetal rica em polissacarídeos (açúcares complexos). O restante da biomassa é composto por substâncias como proteínas, óleos vegetais e minerais (CARDOSO, 2006).

O bagaço da cana-de-açúcar, figura 2, é uma importante peça na matriz energética brasileira, ele é queimado nas usinas de açúcar e álcool para gerar vapor e produzir energia elétrica. Porém, nos pátios de estocagem das indústrias sucroalcooleiras, uma grande quantidade desse resíduo fica armazenado por um período. Esse tempo que o bagaço fica nos pátios para ser reaproveitado, causa alterações físico-químicas, tendo como principal, a diminuição do seu poder calorífico (SANTOS, BORÉM, & CALDAS, 2011).

Figura 2 - Pátio de estocagem de bagaço



Fonte: Coopercitrus (2015)

3.2.1 Tipos de reuso do bagaço

3.2.1.1 Ração animal

Atualmente o bagaço é muito utilizado como fonte de alimento para ruminantes, devido ao bagaço hidrolisado contribuir com exigências nutricionais a que o animal necessita. A grande quantidade de bagaço disponibilizada para esse reuso, é economicamente viável e mantém o princípio da conservação do meio ambiente, além de ser abundante no momento de precariedade de forragem (CÁSSIA, HENRYQUE, & DO NASCIMENTO, 2012).

3.2.1.2 Cogeração de energia

Durante um período do ano, o Brasil sofre com a seca que interfere diretamente nos reservatórios das usinas hidrelétricas, daí a importância da cogeração de energia utilizando o bagaço de cana. Atualmente o setor sucroalcooleiro consegue utilizar a cogeração de energia para produzir açúcar, álcool e ainda consegue exportar o excedente.

Na produção de energia pelo processo de cogeração, são produzidas energia eletromecânica (energia elétrica e acionamentos mecânicos) que é transformada em eletricidade por meio de geradores e a energia térmica (vapor, água quente e água gelada) que é utilizada como fonte de calor em um processo industrial (ALVES, 2013).

Com o uso de tecnologias mais eficientes dentro da usina, já é possível vender a eletricidade produzida por cogeração, fato que aumentou a visibilidade pelo setor sucroenergético no mundo. Apesar da grande quantidade de bagaço que a indústria produz, apenas uma parte é utilizada como potencial energético, isso pelo fato do desperdício de energia com as tecnologias intermediárias das termoeletricas das usinas, e a falta de investimento para aumentar a quantidade de potência elétrica produzido pela biomassa (SILVA, 2009).

3.2.1.3 Etanol de Segunda Geração

O etanol de segunda geração é produzido a partir da biomassa vegetal, que é composto basicamente por um polímero formado por cadeias de glicose, intrínsecos na celulose. Por meio de uma quebra da celulose em moléculas simples de glicose, é que se consegue fermentar o açúcar por meio de micro-organismos e produzir o etanol. Para produzir esse etanol de segunda geração, é necessário se passar por 4 etapas: pré-tratamento, hidrólise química, hidrólise enzimática e auto-hidrólise. Essas etapas variam de acordo da biomassa utilizada e o alto custo nestes processos são o principal obstáculo na produção (KAWA, 2015).

3.2.1.4 Cinzas do bagaço

O bagaço utilizado para queima no processo de cogeração, produz cinzas que atualmente tem participação ativa nas pesquisas para ser introduzido diretamente na construção civil. Por meio do reaproveitamento das cinzas na produção de concreto, poderá ser substituído em até 30% a quantidade de

massa de cimento na mistura, devido a cinza ter uma grande concentração de sílica que ajuda como aglomerante da mistura (Kawa, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATÉRIAS-PRIMAS

Na realização deste trabalho, foram necessárias como matérias-primas:

- Bagaço de cana-de-açúcar proveniente da Destilaria Miriri localizada no Distrito de Santa Rita, Fazenda Miriri/PB, e
- O gesso para fundição de fabricação da Gesso Santo Antônio localizado no distrito de João Pessoa, município Castelo Branco/PB.

4.1.1 Caracterização das matérias-primas

4.1.1.1 Tratamento do bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço coletado para esse experimento estava no pátio de estocagem da Usina Miriri e chegou no laboratório de Operações Unitárias da UFPB já bastante seco devido aos dias expostos ao ar livre. Após a chegada, o bagaço foi espalhado, figura 3, sobre a mesa no laboratório e manualmente foram sendo retirados impurezas e pedaços maiores de bagaço, a fim de melhorar o processo no moinho.

Figura 3 - Limpeza manual do bagaço



Fonte: Do autor (2019)

Depois do processo da limpeza, o bagaço foi colocado na estufa por três horas a uma temperatura de 105° com o intuito de diminuir sua umidade, visando um material mais seco e de fácil quebra quando passar entre as facas do moinho.

Figura 4 - Secagem do bagaço



Fonte: Do autor (2019)

Após a retirada do bagaço da estufa, foi inserido ao moinho de facas, figura 5, pequenas porções de bagaço, fazendo com que a moagem do bagaço tenha um melhor desempenho e o moinho não pare de funcionar com uma sobrecarga de material adicionado.

Figura 5 - Moagem do bagaço no moinho de facas



Fonte: Do autor (2019)

Todo o bagaço processado passou por uma peneira vibratória, figura 6, esse peneiramento foi um dos fatores que contribuiu para o resultado final da produção das placas, pois utilizamos um bagaço com granulometria menor que 0,297 mm para que o processo de mistura com o gesso esteja uniforme e homogêneo.

Figura 6 - Peneiramento do bagaço



Fonte: Do autor (2019)

Foram utilizadas as peneiras de 20, 30, 40, 50 mesh e o fundo. Cada peneiramento recebeu 100 g de bagaço, obtendo no final de cada processo 35g da granulometria desejada.

4.1.1.2 Gesso

O gesso em pó foi caracterizado originalmente como saiu de fábrica, ele foi pesado e diretamente utilizado no processo de fabricação das placas, não foi realizada nenhuma análise granulométrica ou mineralógica. O processo de produção foi semelhante aos fabricantes de placas de gessos informais, onde o gesso vendido em sacos de 50 kg se mistura a água diretamente sem nenhum tipo de análise.

4.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

4.2.1 Determinação da massa de gesso e bagaço

O material em estudo são placas de forro, constituídos por gesso e bagaço de cana-de-açúcar. Para avaliar as propriedades físicas das placas, foram utilizadas várias proporções de bagaço e gesso. A quantidade de água utilizada foi a mesma em todas as 11 placas.

Para determinar a quantidade de cada material, foi pesado em um béquer o mesmo volume de gesso e bagaço, como visto na figura 7.

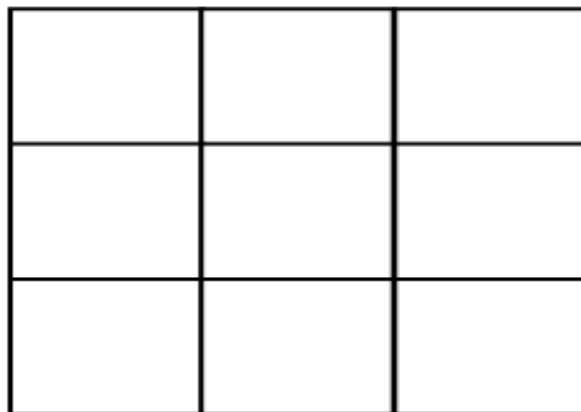
Figura 7 - Proporção das amostras



Fonte: Do autor (2019)

Para obter o peso utilizado de bagaço e gesso na fabricação das placas, foi realizado regra de três simples. Os cálculos foram feitos usando 777,78 g de gesso e 120,82g de bagaço, ambos equivalem a 100%, pois dividimos a placa de 60x60cm que leva 7 kg de gesso em 9 partes, ficando cada placa com 20x20cm como mostra a figura 8.

Figura 8 - Divisão da placa



Fonte: Do autor (2019)

4.2.2 Preparação das placas

Como visto anteriormente, o material em estudo é uma placa de forro, constituída de gesso e bagaço de cana. Para possibilitar uma melhor avaliação das propriedades físicas e mecânicas das placas, foram utilizadas várias proporções de cada material com o objetivo de manter as mesmas características com a tradicional de mercado e manter a facilidade no processo de produção das placas.

O Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central, utilizado neste trabalho é mostrado na tabela 1.

Um planejamento fatorial é utilizado quando mais de dois fatores são determinados para um experimento, variando e combinando todos os níveis, obtendo no final uma análise de variável (BORGES, 2014).

Tabela 1 - Planejamento Fatorial 2^2 com ponto central.

NÍVEIS (2^2)	FATORES (2^2)	
	% GESSO	% BAGAÇO
+1	70	50
0	60	40
-1	50	30

Fonte: Do autor (2019)

Todas as composições das placas estão detalhadas na tabela 2.

Tabela 2 - Composição das placas

PLACA	% GESSO	KG	% BAGAÇO	KG	ÁGUA ml
1	50	388,89 g	50	60,41 g	700
2	50	388,89 g	30	36,54 g	700
3	70	544,44 g	50	60,41 g	700
4	70	544,44 g	30	36,24 g	700
5	45,85786	356,66 g	40	48,32 g	700
6	74,14214	576,66 g	40	48,32 g	700
7	60	466,66 g	54,14214	65,41 g	700
8	60	466,66 g	25,85786	31,24 g	700
9	60	466,66 g	40	48,32 g	700
10	60	466,66 g	40	48,32 g	700
11	60	466,66 g	40	48,32 g	700

Fonte: Do autor (2019)

Para a fabricação das 11 placas de 20x20cm, foram utilizados um total de 534,81 g de bagaço, 5.133,28 g de gesso e 7,7 litros de água. As placas foram confeccionadas sobre uma mesa de vidro para manter a frente da placa lisa. Para determinação das suas dimensões, foram utilizadas réguas de alumínio, conforme pode ser observada na figura 9. Foram adotadas para cada placa as medidas de 20x20cm. A altura das placas variou de 14 a 18 mm, pois as porcentagens de gesso e bagaço mudam em cada placa.

Figura 9 - Montagem do molde para confecção das placas



Fonte: Do autor (2019)

O gesso utilizado para a produção das placas foi o gesso Santo Antônio para fundição e o bagaço de cana-de-açúcar veio da Usina Miriri. O bagaço foi preparado para uso no experimento, no Laboratório de Operações Unitárias da UFPB. As placas foram produzidas na WR gesso, Santa Rita-PB.

O processo de fabricação das placas seguiu os seguintes passos:

- Medir 700 ml de água em um recipiente;
- Misturar o gesso e o bagaço na água;
- Despejo da mistura nas réguas sobre a mesa.

4.2.3 Preparação de amostras para os ensaios

As amostras foram obtidas através de um processo de corte das placas, utilizando serra manual. Cada corpo de prova teve sua dimensão determinada pelas normas para cada um dos ensaios a serem realizados.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

4.3.1 Caracterização física

4.3.1.1 Absorção

Os ensaios para determinação da absorção de água foram realizados no Laboratório de Operações Unitárias – CTDR, em observância aos ditames da Norma ASTM C 272 – 01.

Foi ensaiada 1 amostra de 75x75 mm para cada placa. Durante o período dos ensaios a temperatura do ambiente foi estabilizada, com auxílio de ar condicionado, em torno de 25+/- 2° C.

Todas as 11 amostras foram pesadas numa balança analítica, WANT com precisão de 0,01 g, e expostas na atmosfera acima citada por 24 horas antes do início do teste. Após esse período, o corpo de prova foi imerso na água por um período de 12 horas em beckers.

Passado as 12 horas, as amostras são retiradas dos recipientes, enxutas e pesadas individualmente, depois voltam a serem imersas. Esse processo de imersão e pesagem foi repetido 6 vezes, tendo um total de 72 horas, onde foi observado que não estava mais acontecendo absorção de água.

O coeficiente de absorção das amostras foi calculado através da equação:

$$Ca = \frac{[(Pu - Ps) \times 100]}{Ps} \quad (1)$$

Onde:

Ca = coeficiente de absorção (%);

Pu = Peso úmido (g); e

Ps = Peso seco (g).

4.3.2 Caracterização mecânica

4.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos

Os ensaios para caracterização mecânica em flexão das placas, foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia de Materiais, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, observando as prescrições da Norma ASTM D 790 – 10.

Foram ensaiados 3 corpos de provas com dimensões 20x120 mm, para cada placa, utilizando-se o equipamento AUTOGRAPH AG – X (10kN) da SHIMADZU. Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados com uma velocidade 0,5 mm/min, a distância dos roletes de 50 mm e a célula de carga com 10000 N. Todo corpo de prova foi posicionado para que a carga aplicada fosse concentrada no centro, como mostra a figura 10.

Figura 10 - Análise de resistência a flexão em 3 pontos



Fonte: Do autor (2019)

A resistência à tração na flexão foi determinada através da equação:

$$f = \frac{F.L}{b.h^2} \quad (2)$$

Onde:

F = carga de ruptura;

L = vão entre os apoios;

b = largura do corpo de prova;

h = altura do corpo de prova.

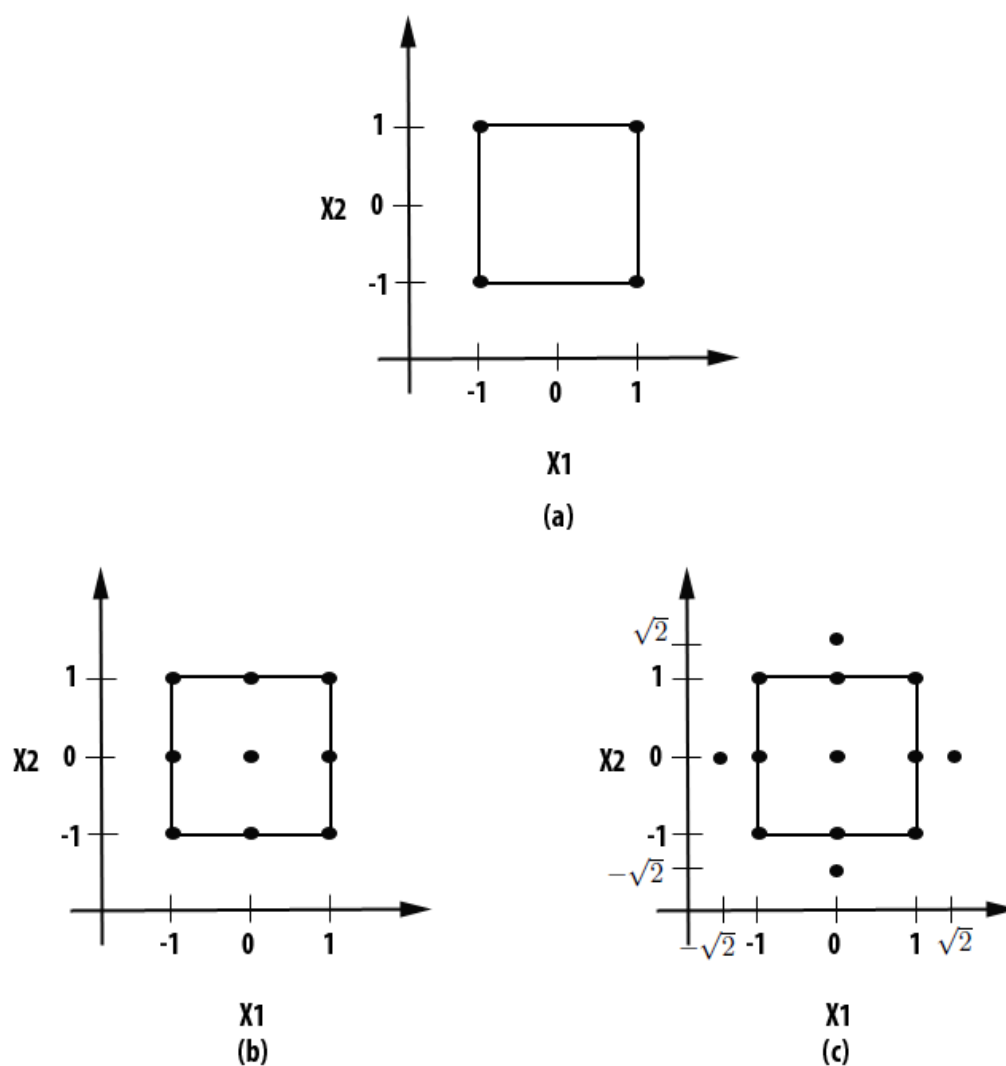
4.4 ELABORAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS PARA INICIAR A FERMENTAÇÃO

4.4.1 *Experimento composto central*

Os experimentos centrais são os mais populares dentre os planejamentos de experimentos de segunda ordem. Basicamente, estes experimentos são compostos de um ponto central, que será executado com réplicas e dará uma estimativa interna do erro puro e de pontos axiais, que irão determinar os termos quadráticos. Esses experimentos são de dois níveis totais ou fatoriais fracionados que foram aumentados com um pequeno número de tratamentos, cuidadosamente escolhidos, para permitir a estimativa do modelo de superfície de resposta de segunda ordem.

Na Figura 11 - - (a) temos um exemplo de experimento fatorial 2^2 , já na Figura 11 - - (b) temos um experimento composto central que obtemos somando um ponto único ao centro e quatro pontos da estrela (também chamados de pontos axiais). Um ponto de estrela é aquele em que todos os fatores são fixados em suas médias dos níveis. As coordenadas dos quatro pontos da estrela na Figura 11 - - (b) são $(-1,0)$, $(1,0)$, $(0,-1)$, e $(0,1)$. Resumindo, os quatro pontos da estrela estão localizados nos centros de cada uma das quatro arestas da região experimental.

Figura 11 - (a) Experimento fatorial 2^2 , (b) Experimento composto central com $\alpha = 1$, (c) Experimento de composição central com $\alpha = \sqrt{2}$.



Fonte: PORTALACTION (2019)

A distância entre um ponto de estrela e o ponto central em unidades é α . Note que, na Figura 11 - (b) os pontos da estrela estão a uma distância de uma unidade à partir do centro, ou seja, $\alpha = 1$. Às vezes, é possível colocar os pontos da estrela para além da região experimental definida pelos limites superiores e inferiores originais dos fatores, como é mostrado na Figura 11 - (c) em que apresentamos um experimento composto central em que os pontos da estrela estão localizados a uma distância $\alpha = \sqrt{2}$ à partir do centro. Como pode ser visto, cada fator é executado em mais de cinco níveis distintos quando α é maior do que 1, enquanto o uso de α é composto de apenas três níveis distintos para cada fator, como mostrado na Figura 11 - (b). Uma vantagem de fixar α maior do que 1, portanto, é que os testes para efeitos de curvatura cúbicos e quadráticos poderão ser conduzidos.

Agora, definimos alguns componentes importantes para os experimentos de composição central:

1. 2^{k-f} pontos de vértice: a base de qualquer experimento composto central é um experimento fatorial completo de 2 níveis ou experimento fatorial fracionado de resolução V ou maior, em que k é o número de fatores e f é o número de níveis de fração de um experimento fatorial 2^2 . Este componente é fornecido por estimação dos efeitos principais lineares e todos os efeitos de interação dois a dois. Geralmente, usamos para os pontos de vértices os níveis $(\pm 1, \dots, \pm 1)$.

2. $2k$ pontos de estrela: a combinação destes níveis do fator permite a estimativa de todos efeitos quadráticos principais. Quando temos $\alpha > 1$, podemos conduzir testes de significância para ordens grandes de efeitos de curvatura. Geralmente, usamos para os pontos de estrela os níveis $(\pm \alpha, \dots, 0)$, $(0, \pm \alpha, \dots, 0)$ etc.

3. n_0 pontos de centro: se $n_0 > 1$, uma estimação do erro puro para σ^2 pode ser avaliada e um teste de falta de ajuste é possível. As coordenadas dos pontos de centro são $(0, \dots, 0)$.

Com as definições feitas até o momento, o termo experimento composto central refere-se à família de planejamentos de experimentos de segunda ordem. Porém, podemos ter diversos delineamentos dependendo dos pontos de vértice α e nas extensões das repetições. Nesses experimentos, podemos ter

repetições no ponto central, nos pontos de vértices e pontos de estrela. Assim, temos que n_c é o número de réplicas em cada ponto de vértice e n_s o número de réplicas em cada ponto da estrela. Agora, definimos o número de corridas experimentais como:

$2^{k-f} n_c$: número de corridas experimentais dos pontos de vértice;

$2^k n_s$: número de corridas experimentais dos pontos da estrela;

$n_T = 2^{k-f} n_c + 2^k n_s + n_0$: número de corridas do experimento.

Na tabela 3, temos alguns experimentos de composição central usuais.

Tabela 3- Experimentos de composição central usuais.

Número de fatores	2	3	4	5	6	7	8
Experimento fatorial (base)	2^2	2^3	2^4	2_V^{5-1}	2_V^{6-1}	2_V^{7-1}	2_V^{8-2}
Pontos de estrela	4	6	8	10	12	14	16
Pontos de centro	1	1	1	1	1	1	1
α ($n_c = n_s = 1$)	1,41421	1,681			2,378	2,828	3,363
	4	8	2	2	4	4	6
Total de corridas	12	18	2 8	30	48	82	84
$(n_c = n_s = 1, n_0 = 4)$							

Fonte: PORTALACTION (2019)

Agora, mostramos algumas diretrizes para a construção de um experimento de composição central: (PORTALACTION, 2019)

- Determinar o número de réplicas do ponto central;
- Determinar os pontos axiais do modelo; e
- Construção da matriz de planejamento.

4.5 SUPERFÍCIE DE RESPOSTA

4.5.1 Introdução a modelos de superfície de resposta

As técnicas de superfície de resposta são ferramentas matemáticas muito úteis quando estamos interessados na otimização de um processo em que temos a influência de vários fatores em uma variável resposta, ou seja, os modelos de superfície de resposta podem ser explorados para determinar condições ótimas para se trabalhar ou a sensibilidade da variável resposta a mudanças dos níveis dos fatores de interesse.

Basicamente, as diretrizes para se trabalhar com um modelo de superfície de resposta são:

- Amostragem;
- Modelagem;
- Otimização.

Amostragem: definimos o número de ensaios que vamos executar, já pensando nos modelos que iremos implementar.

Modelagem e Testes de Hipóteses: ajustamos os modelos e analisamos os ajustes obtidos.

Otimização: obtemos a configuração ótima dos níveis dos fatores de interesse, entre os intervalos considerados, e verificamos a necessidade de realizar novamente o experimento considerando novos níveis para os fatores.

Podemos dividir os modelos de Planejamento de Experimentos, em geral, em dois tipos:

Amostragem:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Modelos de Ordem 1} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Fatoriais} \\ \bullet \text{Fatoriais Fracionados} \\ \bullet \text{Blocos} \end{array} \right. \\ \bullet \text{Modelos de Ordem 2} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{Delineamento Composto Central} (*) \\ \bullet \text{Delineamentos de Box-Behnken} (*) \\ \bullet \text{Delineamentos Ótimos} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Neste capítulo iremos considerar os modelos marcados com (*), que são os modelos de superfície de resposta. Para a modelagem/análise dos modelos de superfície de resposta podem ser utilizadas as seguintes técnicas:

Modelagem/Testes de Hipóteses:

- Modelos de Regressão
- Estimção dos Parâmetros (MQ)
- Técnicas de Inferência Estatística
- ANOVA
- Falta de Ajuste

E para a otimização do modelo ajustado podem ser utilizadas as técnicas:

Otimização:

- Cálculo de Máximo ou Mínimo de funções
- Curvas de Nível
- Visualização Gráfica
- Métodos Numéricos
- *Steepest Ascent* ou *Descent*
- Simulação de Monte Carlo

Para a fase de otimização, é importante ressaltar que a visualização gráfica da superfície de resposta é possível quando temos até 2 fatores. Para um problema com mais fatores essa visualização não é mais possível e é necessário utilizar técnicas numéricas. As técnicas de *Steepest Ascent* e *Descent* são utilizadas quando ainda não foi atingida a configuração ótima dentro dos intervalos considerados e é necessário extrapolar para outros níveis na direção mais interessante. As técnicas de simulações são utilizadas para verificar um possível comportamento quando considerarmos situações que não foram observadas. É importante ressaltar que ao considerar modelos quadráticos é **essencial** a inclusão de **réplicas** no experimento, devido à necessidade de detectar o grau de **curvatura** do modelo. Portanto, sempre que possível inclua réplicas no experimento.

A ideia básica das técnicas de superfície de resposta é considerar que existe uma relação entre as variáveis $x_1, \dots, x_k$ e y , conforme a Equação 3:

$$y = f(x_1, \dots, x_k, \beta) \quad (3)$$

Que é desconhecida, mas que podemos aproximar esta função por uma relação **polinomial**, por exemplo, do tipo, mostrada na equação 4:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{kk} x_k^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \dots + \beta_{(k-1)k} x_{k-1} x_k + \varepsilon. \quad (1.5.1) \quad (4)$$

Assim chamaremos de superfície de resposta a curva dada pela relação da equação 5:

$$E(y) = f(x_1, \dots, x_k, \beta) \quad (5)$$

A expressão é denominada **modelo de segunda ordem de superfície de resposta** (os termos têm, no máximo, ordem 2). O termo ε é o erro aleatório envolvido no modelo, e tem suposições de distribuição de acordo com cada problema. Os β 's são os coeficientes do modelo de regressão. Esse modelo é interessante e muito útil para descrever dados experimentais nos quais a curvatura é abundante. Mas isto não implica que em todos os sistemas contendo curvatura este modelo tem bom ajuste. Existem vários casos em que é necessário um modelo mais complexo, e em alguns casos raros pode até ser necessário utilizar termos cúbicos, para alcançar um ajuste adequado. Em outros casos a curvatura pode ser facilmente manuseada utilizando uma transformação logaritmo na resposta, por exemplo, com $k = 2$, observada na equação 6:

$$\ln y = \beta_0 + \beta_{1.x1} + \beta_{2.x2} + \beta_{12.x1.x2}. \quad (6)$$

Para as superfícies de resposta que forem fixados alguns valores de interesse para a variável resposta Y obtemos, no plano, curvas denominadas curvas de nível ou curvas de contorno. (PORTALACTION, 2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

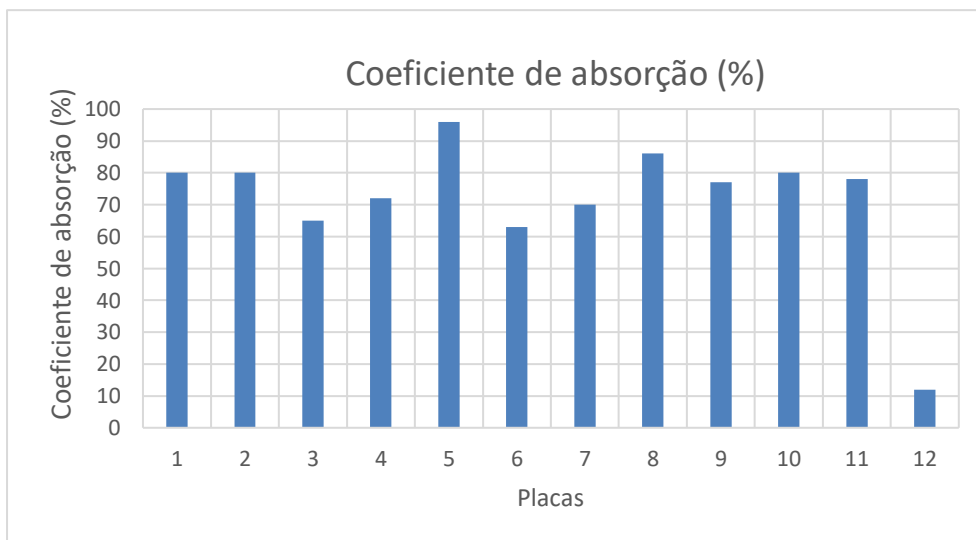
5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS

5.1.1 Caracterização física

5.1.1.1 Absorção

Nos resultados dos ensaios de absorção apresentados na figura 12, podemos verificar uma maior absorção d'água para as 11 amostras em comparação com o gesso comercial (P12). Isso acontece devido a quantidade de fibra adicionada nas placas.

Figura 12 - Coeficiente de absorção



Fonte: Do autor (2019)

Apesar das amostras do gesso comercial (Placa 12) apresentarem uma menor absorção, nota-se, que com o mínimo aumento de peso que ganha uma placa por absorver determinada quantidade de água, causam mudanças em sua estrutura mecânica e no forro.

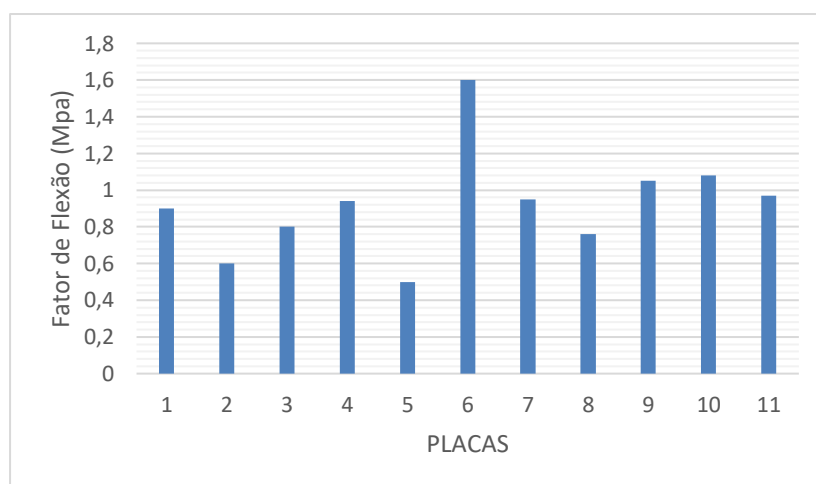
O corpo de prova com o bagaço aumentou 60 gramas em seu peso, e o corpo de prova com gesso 12 gramas.

5.1.2 Caracterização mecânica

5.1.2.1 Resistência à flexão em três pontos

Todas as placas mostraram-se bastante consistentes, tendo em vista a grande variação de gesso, bagaço e água utilizadas na sua composição. Com a adição do bagaço de cana a tensão de ruptura à flexão das placas teve resultados compatíveis com a placa de gesso comercial, como mostra a figura 13.

Figura 13 - Fator de Flexão



Fonte: Do autor (2019)

O fator de flexão P6 ficou dentro do estabelecido, conseguindo ficar similar do fator da placa de gesso comercial, que foi de 1,4 Mpa. A amostra ficou dentro do permitido para a Resistência Mecânica, o gesso apresenta valores de resistência à tração por flexão de 1 a 3 Mpa (GOMES, PAULA, & BESSA, 2013).

Tabela 4 - Dados do cálculo de flexão

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
R (N)	69,64	63,6	100,6	0,636	84,9	46,1	145,9	97,5	78,1	82,6	0,97	223,99
L (mm)	14	16	18	15	16	15	16	16	14	14	14	20

Fonte: Do autor (2019)

5.2 PESO DAS PLACAS

A variação dos pesos das placas ocorreu devido as proporções de cada material utilizado na fabricação. A tabela 7 mostra cada placa e sua respectiva massa.

Tabela 5 - Peso das placas

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
0,482g	0,474g	0,674g	0,636g	0,448g	0,694g	0,602g	0,552g	0,568g	0,570g	0,566g

Fonte: Do autor (2019)

Após os resultados obtidos, foi confeccionado como mostra a figura 14, a placa de forro P6 65x65cm para ser comparada com a placa 65x65cm comercial.

Figura 14 - Produção da placa 65x65cm com gesso e bagaço



Fonte: Do autor (2019)

Placa (P6) com 74,14217% (5.184,94 g) de gesso e 40% (434,88 g) de bagaço.

5.3 SUPERFÍCIES DE RESPOSTA E CURVAS DE CONTORNO

Os dados usados para gerar a superfície de resposta, em função dos fatores de %gesso e %bagaço, tendo como resposta o fator de flexão, são apresentados na tabela 8.

Tabela 6 - Resultados dos fatores de flexão, usado para gerar a superfície de resposta, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço

EXPERIMENTOS	% GESSO	% BAGAÇO	FATOR DE FLEXÃO
1	50	50	0,90
2	50	30	0,60
3	70	50	0,80
4	70	30	0,94
5	45,85786	40	0,50
6	74,14214	40	1,60
7	60	54,14214	0,95
8	60	25,85786	0,76
9	60	40	1,05
10 (C)	60	40	1,08
11 (C)	60	40	0,97

Fonte: Do autor (2019)

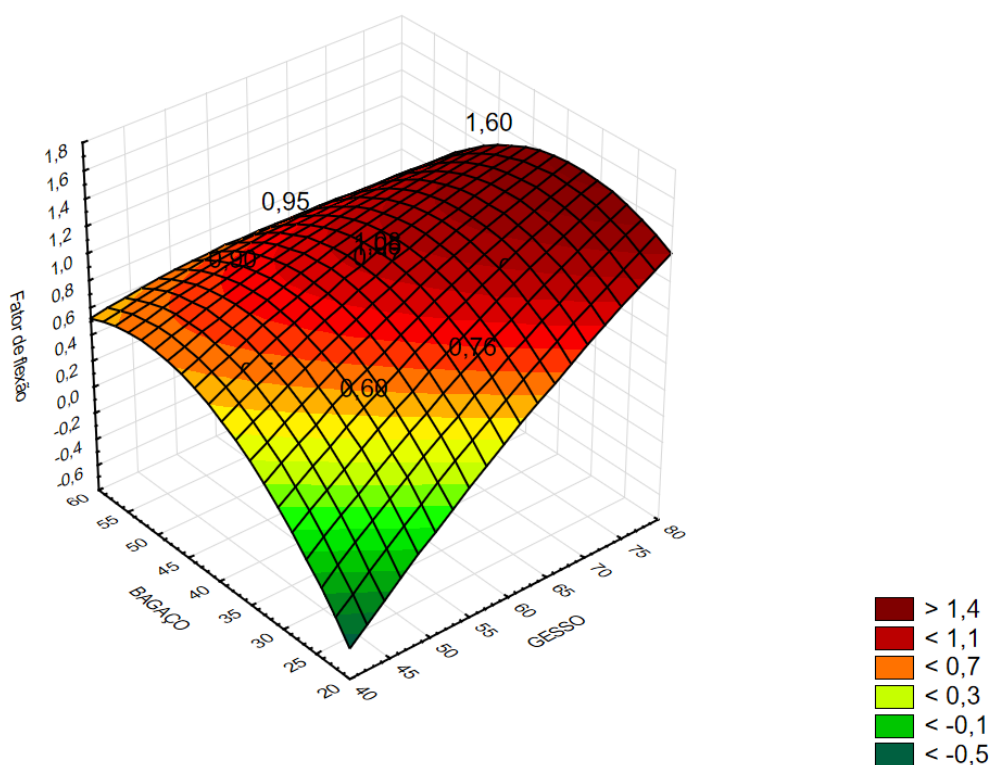
Na figura 15 observamos a superfície de resposta dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço.

A superfície de resposta mostrada na figura 15, foi ajustada através de um polinômio de 2º grau.

A equação desse polinômio nos permite encontrar os valores do Fator de flexão para quaisquer %gesso e %bagaço, dentro dos valores utilizados destes parâmetros no planejamento.

Figura 15 - Superfície de resposta dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço.

$$\text{Fator de flexão} = -6,1469 + 0,0992 * \text{GESSO} + 0,1712 * \text{BAGAÇO} - 0,0003 * \text{GESSO} * \text{GESSO} - 0,0011 * \text{GESSO} * \text{BAGAÇO} - 0,0012 * \text{BAGAÇO} * \text{BAGAÇO}$$

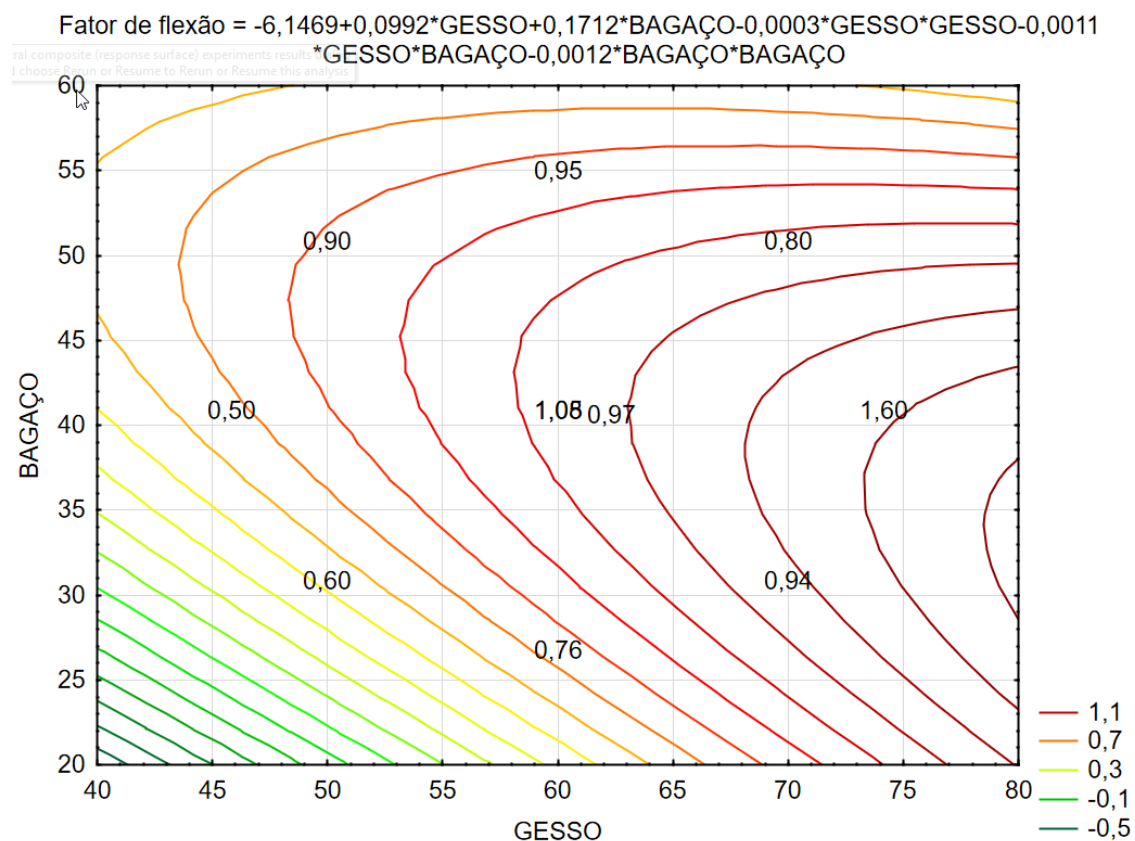


Fonte: Do autor (2019)

Na figura 15, a superfície de resposta nos mostra que, uma %bagaço em torno de 40, resulta em ótimos fatores de flexão.

Na figura 16, as Curvas de contorno dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço, nos mostra mais claramente que uma %bagaço em torno de 40 e %gesso de 74,14214, resulta em ótimos fatores de flexão.

Figura 16 - Curvas de contorno dos resultados dos fatores de flexão, obtido a partir dos fatores de %gesso e %bagaço.



Fonte: Do autor (2019)

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como finalidade elaborar placas de gesso e bagaço de cana e analisar suas principais propriedades (física e mecânica), visando sua utilização na construção civil.

O bagaço de cana-de-açúcar foi utilizado em forma de pó, para que suas características físicas fossem similares ao gesso em pó. Com isso foi utilizada a menor granulometria no peneiramento para melhorar o processo de mistura, influenciando diretamente na pasta e na visibilidade do produto final, não deformando e mantendo a placa lisa e firme como a tradicional. A metodologia utilizada no experimento foi bastante eficiente, pois ocorreu uma homogeneidade dos materiais, formando corpos de provas sólidos.

Este trabalho serve de ponto de partida para uma série de estudos sobre a utilização de uma fibra vegetal, especificamente o bagaço de cana-de-açúcar, na mistura com o gesso e água para a produção de placas de forro. Além da produção das placas, é possível confeccionar placas 3D e blocos para paredes.

As placas estudadas apresentaram, quando ensaiadas a flexão, resistência similar à do gesso. O resultado do ensaio de flexão demonstrou que a adição do bagaço na composição das placas de forro, é viável e como mostrou a P6, um resultado maior que o gesso, ampliando a capacidade de não ser deformada rapidamente, evitando ruptura brusca.

A absorção d'água foi maior em todas as placas com adição do bagaço, porém, mesmo com o aumento do peso final de cada corpo de prova, notou-se que comparado ao gesso, ainda se tem um material mais leve tanto seco, como úmido.

Na placa 65x65cm ficou confirmado maior leveza comparada a placa de gesso comercial, possibilitando um material de melhor uso na indústria da construção civil, tendo em vista que um dos principais acidentes de trabalho são os ergonômicos, onde o trabalhador realiza o levantamento ou movimentação de cargas num ritmo constante, ocasionando dores no corpo. Essa placa mais leve, pode proporcionar uma melhor execução das atividades e uma melhor condição de trabalho. A placa acima, obteve um peso 25% menor que a placa comercial.

O bagaço de cana como sendo o maior resíduo do setor sucroalcooleiro, e o gesso como um dos maiores resíduos da construção civil, geram estudos e possibilidades de reuso em novas atividades. Atualmente o gesso já vem sendo utilizado no setor agrícola para correção de solos sódicos, tendo como principal função tornar o solo agricultável, possibilitando a recuperação das áreas canavieiras que receberam doses elevadas de vinhaça. O gesso deve ser aplicado junto com o calcário, antes da aração profunda. A placa de gesso e bagaço seria menos nociva, e a presença do bagaço diminuiria impactos ambientais no solo (DRYWALL, 2012).

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar com a mesma metodologia utilizada neste trabalho, estudos utilizando outras granulometrias de bagaço, para um maior aproveitamento do insumo do setor sucroalcooleiro.

Com o mesmo material do trabalho, produzir bloco para paredes e gesso 3D, verificando as propriedades físicas e mecânicas estudadas no trabalho e adicionar a análise de resistência a compressão.

Produzir corpos de prova em formas de dimensões iguais, para uma melhor aferição dos resultados.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADALPHO, C., DE FREITAS, F., & BENVINDO, A. (2008). *Gipsita* (2ª ed.). Recife: MCT.

ALVES, M. F. (2013). *Introdução aos processos biotecnológicos*. João Pessoa, PB: Mídia Gráfica e Editora.

ASTM C 272 - 01 - STANDARD TEST METHOD FOR WATER ABSORPTION OF CORE MATERIALS FOR STRUCTURAL SANDWICH CONSTRUCTIONS.

ASTM D 790 - 10 - STANDARD TEST METHOD FOR FLEXURAL PROPERTIES OF UNREINFORCED AND REINFORCED PLASTICS AND ELECTRICAL INSULATING MATERIALS.

BORGES, A. R. (2014). *Modelagem em experimentos fatoriais replicados para melhoria de processos industriais têxteis*. Rio de Janeiro: PUC.

CARDOSO, M. d. (2006). *Produção de Aguardente de Cana* (2ª ed.). Lavras, MG: Editora UFLA.

CÁSSIA, J. d., HENRYQUE, M., & DO NASCIMENTO, S. (2012). *Gestão de Resíduos em uma agroindústria canavieira no vale do São Francisco: O reaproveitamento do bagaço de cana de açúcar*. Universidade Federal do Vale do São Francisco. Goiânia: PET Conexões de Saberes.

CUNHA, P. W. (2012). *ESTUDO SOBRE AS POTENCIALIDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO E FIBRAS DE COCO SECO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL*. NATAL: TESE DE DOUTORADO - UFRN.

DRYWALL. (2012). *Resíduos de gesso na construção civil - Coleta, armazenagem e estocagem*. PE: Agns Gráfica e Editora.

ECONOMIA, I. d. (02 de fevereiro de 2009). *IAC Lança a mais completa obra atualizada sobre cana-de-açúcar*. Fonte: IE UFRJ: <http://www.ie.ufrj.br/index.php/publicacoes/revista-economia-contemporanea/infosucro-clipping-all/clipping-anos-anteriores-062011/acucar-fevereiro-2009>

GOMES, A., PAULA, A., & BESSA, J. (2013). *Gesso e cal de construção*. Lisboa: IST.

HECK, M. G. (21 de 09 de 2010). *Execução de forro de placas de gesso*.
Fonte: ESO: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=192>

KAWA, L. (01 de 06 de 2015). *Resíduos da produção de cana-de-açúcar*.
Fonte: Notícias Agrícolas:
https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/sucroenergetico/156845-residuos-da-producao-de-cana-de-acucar.html#.XMmL6uij_IV

NBR 12127 - GESSO PARA CONSTRUÇÃO - DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO PÓ.

NBR 12128 - GESSO PARA CONSTRUÇÃO: DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA PASTA.

NBR 12129 - GESSO PARA CONSTRUÇÃO: DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS.

NBR 13207 - GESSO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL.

NOVACANA. (23 de Abril de 2019). *Conab apresenta levantamento final da safra 2018/19 de cana-de-açúcar*. Acesso em 2019, disponível em NOVACANA: <https://www.novacana.com/n/cana/safra/conab-levantamento-final-safra-2018-19-cana-de-acucar-230419>

PORTALACTION, EXPERIMENTO COMPOSTO CENTRAL, Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/planejamento-de-experimento/611-experimento-composto-central>; Acesso em: 25 de abril. 2019.

PORTALACTION, SUPERFÍCIE DE RESPOSTA, Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/planejamento-de-experimento/superficie-deresposta>, Acesso em: 25 de abril. 2019.

ROSSO, K. (02 de 02 de 2016). *Utilização de gesso na Construção Civil*.
Fonte: Gaúcha News: <http://gauchanews.com.br/artigos/utilizacao-de-gesso-na-construcao-civil/12628624>

SANTOS, F., BORÉM, A., & CALDAS, C. (2011). *Cana-de-açúcar: bionergia, açúcar e etanol: tecnologias e perspectivas*. (2ª ed.). Viçosa, MG: Os Editores.

Scaramuzzo, M. (18 de 05 de 2015). *Investidores voltam a olhar usinas, agora por causa da energia do bagaço da cana*. Acesso em 2019, disponível em Coopercitrus - Cooperativa de produtos rurais: <https://www.coopercitrus.com.br/?pag=noticias&act=detalhes¬icia=2861&categoria=>

SILVA, W. D. (2009). *A cogeração de energia elétrica a partir da biomassa inserida na matriz energética brasileira*. São Carlos: EESC.

Vian, C. E. (2015). *Agroindústria canavieira: estratégias competitivas e modernização* (2ª ed.). Campinas, SP: Editora Átomo.