

UNIVERSIDADE SANTA CECILIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CAROLINA CECI MOINO

**DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CONSUMIDA EM UNIDADE PILOTO DE
CORREIA TRANSPORTADORA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DO ÂNGULO
DE INCLINAÇÃO.**

SANTOS – SP

2018

CAROLINA CECI MOINO

**DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CONSUMIDA EM UNIDADE PILOTO DE
CORREIA TRANSPORTADORA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DO ÂNGULO
DE INCLINAÇÃO.**

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, sob orientação da Profa. Dra. Marlene Silva de Moraes e do Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior.

SANTOS – SP

2018

Autorizo a reprodução parcial ou total deste trabalho, por qualquer que seja o processo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos.

621.67 MOINO, Carolina Ceci.
W214e DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CONSUMIDA EM UNIDADE PILOTO DE
CORREIA TRANSPORTADORA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DO ÂNGULO DE
INCLINAÇÃO.

/ Carolina Ceci Moino. -- 2018

82 p.

Orientadora: Profa. Dra. Marlene Silva de Moraes.
Orientador: Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
Santos, SP, 2018.

I. Moino, Carolina Ceci Moino. DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA
CONSUMIDA EM UNIDADE PILOTO DE CORREIA TRANSPORTADORA, EM FUNÇÃO DA
VELOCIDADE E DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO.

“Dedico este trabalho primeiramente ao meu pai, Carlos Alberto Amaral Moino, por sempre acreditar no meu potencial, me incentivar desde a época que brincávamos de Lego, proporcionar as melhores oportunidades acadêmicas e sempre me ensinar que acima de tudo está o amor como resposta, objetivo e solução.

Dedico também à Jussara Fonseca Cintra Mathias e ao José Augusto Cintra Mathias por me acolherem com tanto amor e carinho ao longo desses dois anos e permitir que eu tivesse condições de dar continuidade aos estudos e realizasse esse sonho.

Dedico a Deus que me permitiu percorrer essa jornada com saúde e ao lado de pessoas queridas”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

Aos meus orientadores, Prof.^a Dra. Marlene Silva de Moraes e Prof. Dr. Deovaldo de Moraes Júnior pelo apoio, carinho e atenção durante o trabalho, pelas contribuições com o desenvolvimento e aperfeiçoamento tanto da unidade experimental, como do texto.

Ao professor e amigo Dr. Vitor da Silva Rosa pelas horas de atendimento e atenção dispensada, por sempre me auxiliar e apresentar as diretrizes para o caminho acadêmico.

À todas as equipes dos laboratórios, especialmente aos técnicos e estagiários que estiveram presentes durante o desenvolvimento do trabalho e dispostos a me ajudar direta e indiretamente todas as vezes em que precisei.

Aos técnicos Irineu Penha da Ressurreição, Álvaro Luiz Moreira Conrado, Vitor Dias de Paula e Volnei de Lemos por todo o suporte na manutenção e desenvolvimento da unidade experimental.

Ao técnico do laboratório de mecânica dos solos do *campus* de engenharia civil Pedro Henrique Simões Andrade pela disponibilidade dos equipamentos e por toda atenção dispensada.

Aos estagiários e amigos Karen Peres da Silva Sá, Paloma Rodrigues Inocência, Rebecca Marques Bonato Verzani e Luciano Mazzucca da Gama por todo apoio empregado no decorrer dos ensaios e nos debates acadêmicos que tanto agregaram no nosso desenvolvimento.

À Universidade Santa Cecília pela oportunidade de utilizar as instalações dos laboratórios de Operações Unitárias, Usinagem e Soldagem e de Mecânica dos Solos.

Ao amigo e mestre José dos Ramos de Almeida Batista por me incentivar desde o período da graduação e sempre acreditar no meu potencial.

Aos meus antigos chefes e amigos Eduardo Ribas, Felipe Beserra e Elton Belarmino por todo apoio, incentivo e compreensão nos momentos em que precisei conciliar trabalho e estudos.

“Precisamos dar um sentido humano às nossas construções e, quando o amor ao dinheiro e ao sucesso nos estiver deixando cegos, saibamos fazer pausas para olhar os lírios do campo e as aves no céu”.
(Érico Veríssimo)

RESUMO

O aumento da população e dos grandes centros urbanos tornou necessário o desenvolvimento tecnológico tanto nos processos industriais, como no transporte das matérias-primas e distribuição dos produtos. O tipo de transporte empregado está diretamente relacionado com o material deslocado, local de atuação, intervalo de tempo disponível, segurança e impacto ambiental. Os transportadores instalados em indústrias podem ser classificados em fechados, como os pneumáticos e os hidráulicos, enquanto os abertos podem ser de caneca, esteiras e correias. As correias transportadoras são comumente utilizadas, uma vez que apresentam rápida construção, simples instalação, continuidade na movimentação, transporte de diferentes materiais e quantidades. Entretanto, quando mal dimensionadas, podem apresentar perdas excessivas de material e elevado consumo de energia elétrica. Visando estudar aprimoramentos construtivos do equipamento e resultados práticos através das intervenções, o presente trabalho teve por objetivo geral desenvolver uma bancada experimental de correia transportadora para o transporte de sólidos. Como objetivos específicos investigou-se a influência da velocidade e do ângulo de inclinação, em relação à perda de britas durante o transporte e à potência consumida no eixo do motor elétrico de acionamento do equipamento. A unidade experimental consistiu de uma correia com 3,60 metros de comprimento útil, um conjunto moto-redutor com inversor de frequência para acionamento da correia, um alimentador em acrílico com saída de 45° e uma estrutura secundária de elevação da correia com um conjunto moto-redutor, inversor de frequência e um dispositivo contra-recuo. Com o intuito de se testar as alterações realizadas, foi utilizada uma amostra de brita zero peneirada na malha de 6,3 milímetros para realização dos ensaios e obtenção de dados. Foi utilizado o método da determinação da massa constante, afim de se iniciar a caracterização das britas com umidade constante. Em seguida foram realizados ensaios para determinação do ângulo de repouso natural, limite de espalhamento e ângulo de escorregamento da amostra em uma bancada auxiliar desenvolvida durante o estudo. Foram testados os limites do equipamento, sendo a inclinação mínima de 0° e a máxima de 25°, determinados pelos resultados do ensaio de escorregamento do material a ser transportado. Foram realizados ensaios em triplicata nos graus de 0, 5, 10, 15, 20 e 25, bem como velocidades de 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0 m/s, transportando 10 quilogramas de amostra de brita zero. Em relação à perda de material, foi possível notar que quanto maior a inclinação da mesa, maior a dificuldade para todas as britas saírem do alimentador e serem transportadas na correia, formando uma zona morta na alimentação. Os dados obtidos foram plotados em dois ábacos, com o intuito de facilitar a leitura. O primeiro ábaco foi da perda de material em função do ângulo tendo as velocidades como parâmetros, enquanto o segundo ábaco foi da relação entre a potência e o produto da vazão pelo comprimento útil da correia, em função do ângulo de inclinação da mesa, tendo como parâmetro as velocidades. O equipamento desenvolvido demonstrou capacidade para obtenção de dados nas condições solicitadas pelo presente estudo; sendo possível analisar a variação da potência consumida pelo motor elétrico ao serem variadas as velocidades e angulações da correia. O ábaco desenvolvido apresenta facilidade na obtenção de informações, porém encontra-se limitado em relação ao tipo de material transportando.

Palavras-chave: Transportadores Contínuos; Correia Transportadora; Velocidade, Potência e Ângulo de Inclinação de Correias; Brita Zero.

ABSTRACT

The increase in population and the large urban centres became necessary technological development both in industrial processes, such as the transport of raw materials and product distribution. The transport type employee is directly related to the displaced material, place of performance, range of available time, safety and environmental impact. The transporters installed in industries can be classified into closed, as the tyres and the hydraulics, while the open can be of mug, mats and straps. The conveyor belts are commonly used, once present construction, simple installation, rapid in movement, different transport materials and quantities. However, when badly scaled, may exhibit excessive losses of material and high energy consumption. In order to study construction equipment enhancements and practical results through interventions, the present work had as general objective to develop an experimental countertop conveyor belt for the transport of solids. Specific objectives to investigate the influence of speed and tilt angle, relative to the crush loss during transportation and the power consumed on the shaft of the electric motor of the drive equipment. The experimental unit consisted of a belt with 3.60 meters useful length, a series geared motor with frequency inverter for belt drive, a feeder in acrylic with output of 45° and an elevation of secondary structure belt with a set geared motor, frequency inverter and a backstop device. In order to test the effectiveness of changes made, it was used a sample of brita zero in 6.3 mm mesh sieve for carrying out of the trials and obtaining data. We used the method of determination of mass constant, in order to start the characterization of the breaks with constant humidity. Then were carried out tests for determining the natural resting angle, spreading and limit slip angle of the sample in a helper Workbench developed during the study. Have been tested the limits of the equipment, being the minimum inclination of 0° and maximum of 25, determined by test results of slipping of the material to be transported. Tests were carried out in triplicate in degrees of 0, 5, 10, 15, 20 and 25, as well as speeds of 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9 and 1.0 m/s, carrying 10 kilograms of brita sample zero. In relation to loss of material, it was possible to notice that the larger the table, the greater the difficulty for all breaks out of the feeder and be carried on belt, forming a dead zone. The data obtained were plotted in two Abaci, in order to facilitate reading. The first abacus was the loss of material according to the angle having the speeds as parameters, while the second was abacus the relationship between power and the product of the length of the belt, according to the angle of inclination of the table, with the speed parameter. The equipment developed demonstrated ability to obtain data under the conditions requested by the present study; being possible to analyze the variation of the power consumed by electric motor at different speeds and angles. The abacus developed offers ease in obtaining information, but is limited in relation to the type of material conveying.

Keywords: Continuous Conveyors; Conveyor Belt; Speed, Power and Angle of Inclination of Conveyor Belts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem da cidade de Santos no início de seu desenvolvimento no século XIX.....	01
Figura 2: Imagem da cidade de Santos urbanizada nos dias atuais.....	02
Figura 3: Concentração demográfica nas áreas litorâneas do Brasil.....	03
Figura 4: Ponto de descarga de uma correia transportadora.....	05
Figura 5: Exemplo de caminhão betoneira com os materiais que compõe o concreto usinado.....	09
Figura 6: Concreto usinado e transportado em caminhão betoneira.....	10
Figura 7: Projeto de uma usina produtora de concreto.....	10
Figura 8: Fluxograma da unidade piloto.....	15
Figura 9: Equipamento inicial, antes das transformações realizadas pelo presente trabalho.....	16
Figura 10: Motor elétrico trifásico da unidade piloto.....	16
Figura 11: Conjunto de acionamento e elevação do equipamento.....	17
Figura 12: Sistema de elevação.....	17
Figura 13: Imagem detalhada do dosador volumétrico construído.....	18
Figura 14: Alimentador desenvolvido inicialmente.....	18
Figura 15: Saída do novo alimentador com ângulo de 45 graus de abertura.....	19
Figura 16: Protótipo do novo alimentador.....	19
Figura 17: Alimentador em acrílico, definitivo da unidade piloto.....	20
Figura 18: Alimentador em acrílico instalado na correia transportadora, com saída de 45 graus.....	20
Figura 19: Unidade piloto de correia transportadora aperfeiçoada.....	21
Figura 20: Amostra geral de brita zero.....	21
Figura 21: Amostra de brita zero em bandeja para secagem.....	22
Figura 22: Jogo de peneiras de Tyler.....	22
Figura 23: Peneiras utilizadas no processo de peneiramento da amostra.....	23
Figura 24: Estufa de marca Marconi, modelo MA 035/630i de 4.500 Watts.....	24
Figura 25: Balança de marca Gehaka, modelo BG 8.000, com capacidade mínima de 5 gramas e máxima de 8.000 gramas.....	24
Figura 26: Dinamômetro de marca Instrutherm, modelo DD-500.....	25

Figura 27: Tacômetro de marca Lutron, modelo DT 2236 e capacidade máxima de 100.000 rpm.....	25
Figura 28: Paquímetro de marca Mitutoyo de 150 mm.....	26
Figura 29: Régua de nível de marca Stanley e base com imã.....	26
Figura 30: Escala metálica de 600 mm.....	26
Figura 31: Materiais utilizados para determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento.....	27
Figura 32: Bancada de ensaios do ângulo de e escorregamento das britas em borracha estática, com suporte elevador de laboratório.....	27
Figura 33: Suporte elevador de laboratório.....	27
Figura 34: Imagem do talude com ângulo de repouso natural das britas.....	29
Figura 35: Bancada experimental para ensaio de escorregamento das britas em borracha estática, com elevação dada pelo suporte elevador.....	30
Figura 36: Porcentagem de perda de material em relação ao ângulo de inclinação e a velocidade da correia transportadora.....	37
Figura 37: Potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia, em função da velocidade e o ângulo de inclinação.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Transportadores Industriais.....	04
Quadro 2: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura.....	11
Quadro 3: Descrição dos procedimentos realizados nos ensaios da unidade piloto.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Velocidades máximas recomendadas em metros/segundo.....	06
Tabela 2: Quantidade de amostra retida no processo de peneiramento.....	23
Tabela 3: Resultados do ensaio de determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento das britas.....	29
Tabela 4: Resultados do primeiro ensaio de escorregamento.....	31
Tabela 5: Resultados do segundo ensaio de escorregamento.....	31
Tabela 6: Resultados do terceiro ensaio de escorregamento.....	31
Tabela 7: Resultado dos valores médios coletados nos ensaios.....	35
Tabela 8: Resultado da análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia.....	37

NOMENCLATURA

F	Força média pelo dinamômetro (N)
b	Braço acoplado no eixo do motor em balanço (m)
d	Distância percorrida pela amostra na correia (m)
t	Tempo (s)
L	Comprimento entre tambores da correia transportadora (m)
ω	Velocidade angular (m/s)
n	Rotação no eixo do motor (rpm)
R	Raio do tambor de acionamento (m)
V	Velocidade da correia transportadora (m/s)
W	Trabalho de eixo (Nm)
θ	Ângulo de inclinação (graus)
ΔS	Varição do espaço percorrido (m)
Δt	Varição do tempo (s)
Q	Vazão mássica (t/h)
Q_p	Quantidade de amostra perdida no ensaio (g)
Q_e	Quantidade de amostra de entrada (g)
Q_s	Quantidade de amostra de saída (g)
N	Potência (hp)
N_e	Potência total efetiva (hp)
N_v	Potência de acionamento do transportador vazio (hp)
N_1	Potência para deslocamento de material (hp)
N_h	Potência para inclinação do material (hp)
N_g	Potência de atrito das guias laterais (hp)
T_e	Tensão efetiva (kgf)

LISTA DE UNIDADES

N	Newton
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
rpm	Rotação por minuto
s	Segundo
m/s	Metro por segundo
hp	Horse power
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
W	Watts
t	Tonelada
t/h	Tonelada por hora
kg/min	Quilograma por minuto

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2 MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1 MATERIAL.....	15
2.1.1 Unidade piloto de correia transportadora.....	15
2.1.2 Determinação da amostra utilizada.....	21
2.1.3 Instrumentos de medição.....	23
2.2 MÉTODOS	28
2.2.1 Determinação da umidade inicial	28
2.2.2 Caracterização das britas	28
2.2.3 Ensaio na unidade piloto para obtenção da potência consumida pelo motor elétrico, quando variada a velocidade e o ângulo de inclinação da correia.	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.1 Apresentação dos resultados coletados nos ensaios.....	35
3.2 Estudo de caso.....	39
Exemplo numérico de aplicação dos dados	39
4 CONCLUSÃO	40
4.1 Sugestão para trabalhos futuros.....	40
5 REFERÊNCIAS	41
6 APÊNDICES	43

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, iniciada no século XVIII na Inglaterra e posteriormente difundida aos demais países, impactou mudanças sociais e tecnológicas refletidas até os dias atuais.

Ao serem construídas indústrias, portos e aeroportos, as proximidades necessitam de desenvolvimento do transporte, moradia, comércio, redes de distribuição de energia elétrica e saneamento básico, uma vez que a população se desloca para o centro urbano.

Como exemplo do fenômeno de migração da população para os grandes centros, tem-se as figuras 1 e 2 que demonstram a expansão demográfica e os avanços da urbanização da cidade de Santos entre os séculos XIX e XXI, após a construção do porto.



Figura 1: Imagem da cidade de Santos no início de seu desenvolvimento no século XIX.
Fonte: Site Oficial da Cidade de Santos. Acesso em Agosto/2018.

É possível notar que as mudanças não foram apenas nas edificações construídas, mas também no desenvolvimento do sistema viário e na planta urbana da cidade, com a separação dos bairros e quadras.



Figura 2: Imagem da cidade de Santos urbanizada nos dias atuais.
Fonte: Site Oficial da Cidade de Santos. Acesso em Agosto/2018.

O nível de dependência financeira, somado ao grau de industrialização, determinam os parâmetros de caracterização econômica dos países desenvolvidos e subdesenvolvidos.

De acordo com uma publicação do International Monetary Fund (2018) sobre a *World Economic Outlook* de abril de 2018, o Fundo Monetário Internacional apresentou o Brasil, em 2017, na oitava posição dentre as maiores economias do mundo, com um Produto Interno Bruto (PIB) de 3,216 trilhões de dólares e participação de 2,5% do PIB mundial. Entretanto, segundo o Fórum Econômico Mundial, o Brasil ocupou em 2017 a octogésima posição no *ranking* de competitividade, segundo o jornal Folha de São Paulo (2017).

Para melhorar esta condição de estar entre as dez maiores economias do mundo, com uma posição que demonstra pouca competitividade, o Brasil precisa melhorar a ação em seus setores influentes e estratégicos.

O setor do agronegócio apresentou ainda em 2017, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017), uma participação em torno de 24% do Produto Interno Bruto Brasileiro. Ainda, o setor da construção civil contribuiu com 6,2% do PIB nacional, conforme a Federação das Indústrias do Distrito Federal.

Estes dois setores com importante participação em quase um terço do PIB brasileiro em 2017, necessitam de avanços das áreas tecnológicas, visando aumentar a produtividade e reduzir o desperdício.

De acordo com Alves, Paes e Paiva (2012) os agregados para a indústria da construção civil são os insumos mais consumidos no mundo depois da água, e segundo Tavares e Farias (2016), o processamento destes materiais consome aproximadamente 10% de toda a energia produzida no mundo.

Sendo o Brasil um país continental, com concentração populacional nas regiões sul e sudeste conforme demonstrado na Figura 3, e atividades agropecuárias no norte, nordeste e centro-oeste, torna-se importante o deslocamento de produtos pelos diversos modais de transporte, além da movimentação de matérias-primas como grãos alimentícios, minérios, agregados da construção civil, plásticos, coque de petróleo, entre outros.



Figura 3: Concentração demográfica nas áreas litorâneas do Brasil.
Fonte: Mundo Educação. Acesso em Julho/2018.

O tipo de transporte é determinado em função da carga, da distância, do tempo de processo, da segurança e do impacto ambiental.

Ao serem tratados os transportes em geral, têm-se como mais utilizados os aviões, os navios, os trens e os caminhões. Já em processos industriais, os tipos de transportes podem ser classificados, conforme estudado por Moraes em 2012, como fechados e abertos, como demonstrados no Quadro 1. Os transportadores fechados podem ser do tipo helicoidal, hidráulico, pneumático e por tubulações, enquanto os abertos podem ser, por exemplo, do tipo elevador de caneca, esteiras e correias.

Quadro 1: Transportadores Industriais.

EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<p>CORREIA</p> 	Usualmente de borracha, instalada sobre roletes e entre tambores de acionamento e retorno.	Rápida construção; instalação simplificada; continuidade na movimentação; transporte de diferentes materiais e grandes quantidades.	Perda de material; exposição às intempéries.
<p>ESTEIRA</p> 	Versátil, pode ser plana ou inclinada, lisa ou vazada, com ou sem uso de taliscas.	Permite a movimentação de diversos materiais.	Perda de material; exposição às intempéries.
<p>CORRENTE</p> 	Utilizada em cargas maiores ou quando a geometria da peça exige este tipo específico de estrutura.	Desloca itens pesados ou leves; possui facilidade de fazer curvas.	Em sistemas robustos há alto consumo de potência; contínua manutenção preventiva.
<p>CANECA OU CAÇAMBA</p> 	Usado em granéis sólidos e em elevação. As caçambas presas em correntes descarregam quando giram na parte superior. Constituídos de uma ou duas colunas.	Efetua transporte vertical ou inclinado até 70°; Caneca confinada, minimiza a dispersão de particulados.	Baixa velocidade e difícil manutenção em função do peso do sistema e da altura.
<p>HELICOIDAL</p> 	Rosca sem fim, cuja helicóide atua em um canal semicircular.	Pode atuar em diferentes funções como mistura, lavagem, secagem.	Utilizado apenas em pequenas distâncias; desgaste da rosca transportadora por atrito.
<p>TRANSPORTADOR HIDRÁULICO</p> 	Empregado para sólidos particulados com água, como nos minerodutos.	Sem perda para o meio ambiente; trabalha com longas distâncias e inclinações.	O sólido fica em contato com a água; há elevado consumo de potência para bombeamento.
<p>TRANSPORTADOR PNEUMÁTICO</p> 	Sólidos particulados são transportados por ar ou outros gases inertes. São classificados em fase densa e em fase diluída.	Sem perda de material; com facilidade de atuação em grandes distâncias e alta velocidade.	Atrito com as paredes; variação de parâmetros de projeto em função do material transportado.

Tavares e Farias (2016) apresentaram a correia transportadora como o equipamento mais utilizado em plantas industriais especialmente nas usinas produtoras de concreto, e consiste resumidamente em um conjunto de roletes e polias que transferem o movimento para uma correia de borracha esticada e tensionada. Os

materiais são depositados em cima da correia e transportados até um ponto de descarga onde caem em queda livre no ponto final de transporte conforme Figura 4, ou em novas sequências de correias.



Figura 4: Ponto de descarga de uma correia transportadora.
Fonte: Conexão Marítima

Moraes (2012) comentou que as correias transportadoras são comumente empregadas como meio de transporte industrial por conterem vantagens como rápida construção e manutenção simplificada. Podem atingir comprimentos quilométricos, como nas mineradoras e pedreiras, e serem conectadas entre si através da variação da inclinação e altura da estrutura.

Ao serem projetadas equivocadamente, as correias transportadoras podem apresentar desvantagens como perda de material, elevado consumo de energia elétrica e acidentes.

De acordo com uma publicação técnica da Allis (1991), para o dimensionamento de uma correia são indispensáveis informações iniciais, tais como: a) características do material a ser transportado, como granulometria, abrasividade, teor de umidade e ângulo natural de repouso; b) perfil do transportador, conhecendo o comprimento da correia, ângulo de inclinação e altura; c) vazão desejada; d) condições de operação, sendo conhecido o local de instalação e o regime de funcionamento; e) características especiais do equipamento, determinando se a correia é reversível, móvel, com *tripper*, entre outros.

A velocidade do equipamento também está relacionada com as características do material, descritos na Tabela 1, considerando o tipo, o tamanho e a abrasividade.

Tabela 1: Velocidade máxima recomendada.

Características	Velocidade (m/s)
Correias alimentadas por granéis finos e pouco abrasivos ou não abrasivos, instaladas na saída de silos ou moegas	0,2 a 0,5
Correias de transportadores móveis	0,5 a 1,0
Correias descarregadas por desviadores	0,5 a 1,0
Correias transportando pacotes e malas (aeroportos)	0,2 a 1,0
Correias coletoras	0,2 a 0,5
Correias transportando madeira	0,5

ALLIS (1991).

O acionamento da correia pode ser através de um único tambor, ou duplo, utilizando dois tambores. Segundo Allis (1991), o acionamento simples é constituído por um motor elétrico que, através de um redutor, movimenta o tambor de acionamento. Nos casos onde a tensão na correia é muito elevada, são instalados dois tambores e ocorre-se o acionamento duplo, sendo instalados dois conjuntos de acionamento independentes.

Quatro fatores são determinantes para a quantidade de potência consumida pelo motor elétrico tanto no acionamento, quanto durante o funcionamento:

1. Vencer a inércia dos roletes, tambores e correia e movimentar o transportador sem a carga do material;
2. Deslocar horizontalmente a correia;
3. Deslocar verticalmente, para condições de aclave e declive;
4. Vencer o atrito dado pelos acessórios, como as guias laterais, os raspadores e limpadores.

No caso de transportadores simples, de até 100 metros de comprimento, a potência pode ser determinada pela equação 1.

$$N_e = V \cdot (N_v + N_g) + \frac{Q}{100} \cdot (N_1 \pm N_h) \quad (1)$$

Sendo:

N_e a potência efetiva (hp);

N_v a potência para acionar o transportador vazio a uma velocidade de 1,9 m/s (hp);

N_1 a potência para deslocar 100 ton/h de material de uma distância (L) na horizontal (hp);

N_h a potência para elevar ou descer 100 ton/h de material de uma altura H (hp);

N_g a potência para vencer o atrito das guias laterais, à velocidade de 1,0 m/s (hp).

Após a determinação da potência efetiva (N_e), é possível obter a tensão efetiva na correia (T_e), conforme equação (2) proposta pela ALLIS (1991):

$$T_e = \frac{75 \cdot N_e}{V} \quad (2)$$

Na qual:

T_e é a tensão efetiva (kgf);

N_e é a potência efetiva (HP);

V é a velocidade da correia (m/s).

O tensionamento correto da correia otimiza a utilização do transportador, evitando a perda de materiais e conseqüentemente, mitigam os prejuízos durante a operação.

Allis (1991) atestou que em casos de supertensionamento, podem ocorrer rupturas ou comprometimento dos eixos e rolamentos do equipamento, pois estes exercem uma força maior do que a necessária. No caso inverso, quando há pouca tensão, a correia fica frouxa, podendo soltar e causar acidentes, além de diminuir a

eficiência do transporte. Destaca-se o ponto ideal de tensionamento quando a transmissão tem o menor tensionamento e a correia não está escorregando.

É possível conferir matematicamente se a correia transportadora está escorregando, através da comparação do resultado do cálculo da velocidade angular obtida na equação 3 e a velocidade linear lida em um aparelho do tipo tacômetro.

$$V_{\omega} = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R \quad (3)$$

Sendo:

V_{ω} a velocidade angular (m/s);

n a rotação no eixo do motor (rpm);

R o raio do tambor de acionamento (m).

Se V_{ω} for maior do que a velocidade linear é indicativo que a correia está escorregando, necessitando, assim, de ajustes nos roletes instalados no equipamento.

As correias transportadoras apresentam o maior índice de implantação nas indústrias em geral, especialmente da construção civil, podendo operar com diversas angulações, velocidades e distâncias, transportando diversos tipos de materiais e de diferentes dimensões. Segundo Alves, Paes e Paiva (2012) a ANEPAC, indústria de agregados para a construção civil, é composta por mais de três mil empresas que representam uma produção superior a quatrocentos milhões de toneladas por ano.

De acordo com Santos e Malagoni (2013), a indústria da construção civil representa elevada participação na formação de investimentos, sendo responsável por aproximadamente 70% da formação de capital da economia brasileira nos anos 2.000. “Calcula-se que para cada 1 bilhão de reais a mais da demanda da construção, sejam criados 177.000 novos empregos”.

É um dos setores de maior consumo de energia e recursos naturais, sendo 75% extraído do meio ambiente. Polesello, et.al. (2010) apresentam a construção civil como uma grande produtora de impacto ambiental, tanto pelo volume de recursos naturais, quanto à geração de resíduos e consumo de energia elétrica em sua cadeia produtiva. Afirmam, ainda, que as centrais dosadoras de concreto geram resíduos agressivos ao meio ambiente, provenientes das sobras e perdas no processo de

mistura. Apresentam também uma estimativa de perda de materiais na produção na ordem de 9%, enquanto países como a Alemanha e Estados Unidos apresentam índices na ordem de até 4%.

As usinas produtoras de concreto são preparadas para atender grandes volumes diários, com qualidade controlada e rapidez em sua fabricação, movimentando o setor da construção desde os anos 20.

Pedroso (2009) declarou que são consumidos aproximadamente onze bilhões de toneladas de concreto por ano, representando um consumo médio em torno de duas toneladas de concreto por pessoa, sendo o valor inferior apenas ao consumo de água.

O concreto é um material de construção composto por aglomerantes (cimento), agregados graúdos (britas) e miúdos (areias), água e, atualmente, aditivos químicos, os quais auxiliam no desempenho e trabalhabilidade da mistura, conforme demonstrado nas Figuras 5 e 6.

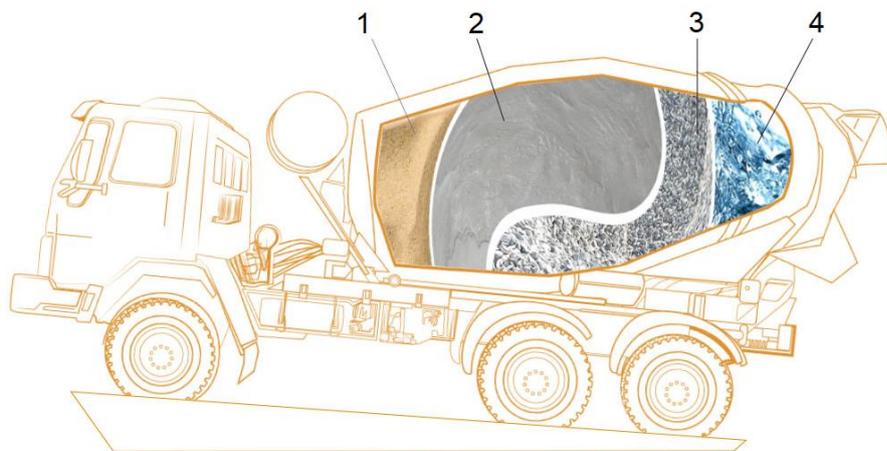


Figura 5: Exemplo de caminhão betoneira com os materiais que compõe o concreto usinado. Legenda: 1. Agregados miúdos (areias); 2. Aglomerante (cimento); 3. Agregados graúdos (britas); 4. Água e aditivos. Fonte: Geramix. Acesso em Julho/2018.



Figura 6: Concreto usinado e transportado em caminhão betoneira.

Silva (2010) atestou que o concreto dosado em central é transportado e misturado em caminhões-betoneira e entregue, no estado plástico, a um determinado consumidor. Tal procedimento descrito na Figura 7 apresenta um custo-benefício que justifica tecnologicamente e economicamente sua utilização. Semelhante ao método convencional, nas usinas a mistura é definida em função da resistência característica do concreto, considerando-se as margens permitidas por norma e assim compatíveis com o processo.

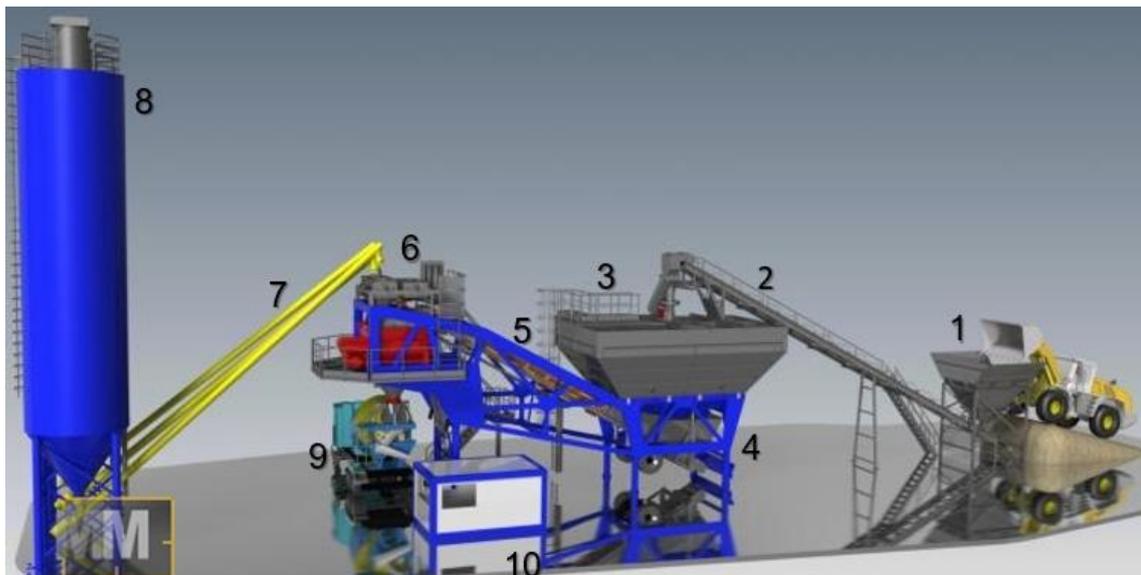


Figura 7: Projeto de uma usina produtora de concreto. Legenda: 1. Alimentador; 2. Correia transportadora; 3. Caixa separadora de agregados (P4); 4. Balança; 5. Correia transportadora; 6. Ponto de mistura dos materiais; 7. Sopradores; 8. Silo de cimento; 9. Ponto de carga; 10. Sala de pesagem. Fonte: Minuto Engenharia. Acesso em Junho/2018.

A correia transportadora representa importante vetor de perda de material e desperdício de energia, se seu dimensionamento e seus parâmetros operacionais, tais como ângulo de inclinação e a velocidade de deslocamento de produtos, não forem otimizados para cada usina produtora. Velocidade e inclinação excessivas levam à queda de produto e perda de material, ao passo que as baixas velocidades interferem diretamente na produção diária.

Tem-se no Quadro 2, como síntese do estado da arte, uma melhor apresentação dos artigos atuais encontrados na literatura. Entretanto, não foram encontradas pesquisas que estudem a influência do ângulo de inclinação, da velocidade crítica de transporte de britas e a potência no eixo do motor elétrico de acionamento da correia.

Quadro 2: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura.

TÍTULO	ANO	AUTORES	DISCUSSÃO
Examination of the process of damaging the top covering layer of a conveyor belt applying the FEM.	2017	Marasová, Ambriško, Andrejová, Miria et. al..	Apresentaram uma análise do impacto do produto sobre a correia, sendo a modelagem utilizada para avaliar a tensão e obter parâmetros de dimensionamento das cargas.
Increasing of horizontal velocity of particles leaving a belt conveyor.	2017	Tavares Abraão; Faria Allbens.	Investigaram o transporte de materiais granulados por uma correia transportadora através de simulações numéricas. Relataram um aumento incomum de velocidade horizontal de partículas quando deixam a correia em queda livre. Usando o método de elementos finitos realizou-se um estudo sobre a influência das propriedades das partículas.
Extension of inner structures of textile rubber conveyor belt – Failure analysis.	2015	Fedorko, Molnár, Michalik, et.al.	Forneceram resultados de estudos experimentais e análise de falha para determinação da influência da tensão na correia em função de materiais compósitos na falha de equipamentos.

Continua.

Quadro 2: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura. (Continuação)

TÍTULO	ANO	AUTORES	DISCUSSÃO
Adaptive Parameter Estimation for an Energy Model of Belt Conveyor with DC Motor.	2014	YanJun; Xiaohua	Constataram que parâmetros de projeto de uma correia transportadora podem se distanciar dos originais por manutenção, reajuste, retromontagem, abrasão, em mudança de circunstância. Analisaram a potência medindo apenas a taxa de alimentação da correia transportadora e a velocidade angular do rotor do motor.
Projeto de correia transportadora: Estudo computacional de comparação dos métodos Cema e Prático.	2014	Malagoni; Holos.	Criaram um programa computacional para o projeto de correias transportadoras através dos métodos Prático e CEMA. Foram realizadas simulações para os materiais: rocha fosfática e minério de ferro para diferentes configurações. Como dados de saída do programa, tem-se as seguintes especificações de projeto: largura da correia, distância do material à borda da correia, capacidade mássica, velocidade da correia e potência do motor. Tanto o Método Prático quanto o Método CEMA se mostraram de suma importância para o projeto de correias transportadoras, sendo o primeiro de grande valia na estimativa inicial de um projeto, enquanto o outro é o mais recomendado para o projeto final de correias transportadoras.
Chaos on the conveyor belt - Physical review Statistical, nonlinear, and soft matter physics.	2013	Sándor; Járai-Szabó; Tél et.al.	Estudaram a dinâmica de corpos colocados em sequência em uma correia em experimentos e em simulações de computador. Tal experimento visou entender a dinâmica do movimento e a relação do atrito com o movimento relativo das peças na correia. Simulações sugerem que a complexidade máxima desta dinâmica é alcançada por um número relativamente pequeno de corpos.
Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods.	2010	Hastie; Wypych.	Apresentaram a comparação entre a velocidade da saída do alimentador de material àquela da correia transportadora que recebe o material. Se a velocidade de partícula aumenta demais questões como atrito de partículas, geração de poeira, chute e desgaste da correia e ruído excessivo pode surgir se a velocidade de partícula diminuir, as zonas de estagnação podem se desenvolver, resultando em questões como derrame ou bloqueio. Foram comparados os métodos Continuum e finitos para avaliar se permitem uma previsão precisa do fluxo do chute.

Continua.

Quadro 2: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura. (Continuação)

TÍTULO	ANO	AUTORES	DISCUSSÃO
On the Weakly Nonlinear, Transversal Vibrations of a Conveyor Belt with a Low and Time - Varying Velocity.	2003	Suweken, Van Horssen.	Comprovaram que as variações de velocidade da correia podem produzir vibrações, sendo esta análise importante para estabilidade e integridade física da estrutura e dos componentes da correia e do material a ser transportado.
Critical phenomenon of granular flow on a conveyor belt. - Physical review - Statistical, nonlinear, and soft matter physics.	2003	De-Song, Zhang; Guang-Lei et.al.	Abordaram a relação entre o movimento de grãos em uma correia transportadora bidimensional e o tamanho da saída junto com a velocidade da esteira transportadora. O resultado mostra os efeitos na amostra de grãos devido à mudança da velocidade ou da largura da saída de produtos.

Apresentam-se como motivações para o presente estudo:

- a) A implantação de correias transportadoras em diversos setores industriais;
- b) O concreto como segundo maior insumo consumido no mundo;
- c) A brita zero a matéria-prima fabricação do concreto;
- d) O tema foi pouco abordado na literatura nos últimos quinze anos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O trabalho teve por objetivo geral aperfeiçoar uma bancada experimental de correia transportadora para o deslocamento de sólidos, com o intuito de se obter a potência consumida pelo motor elétrico em função da velocidade da correia e o ângulo de inclinação da mesa.

1.1.2 Objetivos específicos

A pesquisa visou, como objetivos específicos:

- a) Testar o equipamento desenvolvido transportando brita zero;
- b) Obter uma relação da potência consumida no eixo do motor elétrico em relação à inclinação e à velocidade da correia;
- c) Investigar a influência da velocidade e do ângulo de inclinação da correia, em relação à perda de britas durante o transporte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

O presente trabalho teve como material um equipamento de correia transportadora, já existente no laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, o qual sofreu alterações construtivas para aperfeiçoamento e desenvolvimento desta pesquisa.

A fim de se testar o equipamento final desenvolvido no presente estudo, foi utilizada uma amostra de brita zero empregada na fabricação de concreto, para realização dos ensaios.

2.1.1 Unidade piloto de correia transportadora

Afim de se aperfeiçoar uma unidade piloto de transportador contínuo do tipo correia, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 8, foram realizadas melhorias a partir de uma estrutura já existente no laboratório de Operações Unitárias da Universidade Santa Cecília, conforme Figura 9 e, ainda, foram construídos um alimentador e uma estrutura de elevação na qual foi instalado o conjunto de acionamento do equipamento.

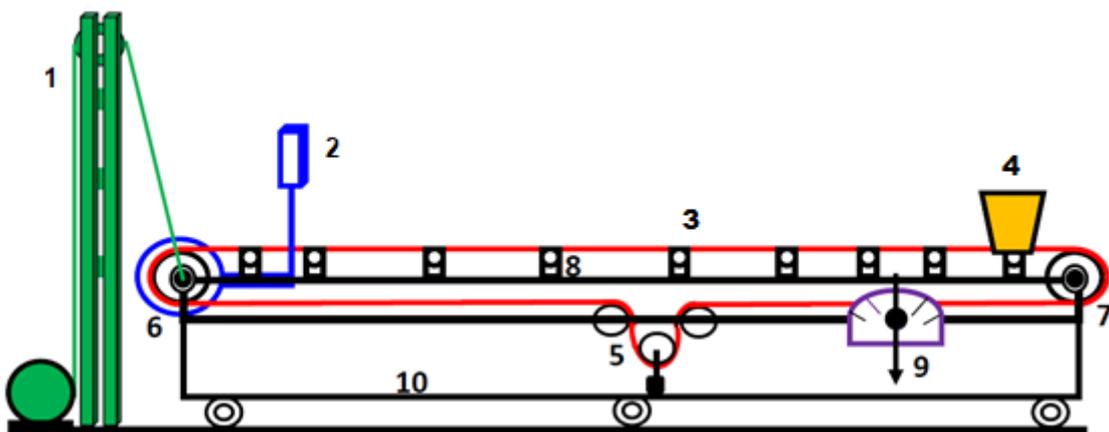


Figura 8: Fluxograma da unidade piloto. 1) Dispositivo de elevação angular da esteira com inversor e contra recuo; 2) Conjunto motor em balanço com braço para dinamômetro; 3) Correia de borracha; 4) Alimentador de brita; 5) Dispositivo de contra-peso para tracionar a correia; 6) Rolo ou tambor de acionamento (motor) da correia; 7) Rolo ou tambor de retorno da correia; 8) Roletes de apoio da correia com rolamentos; 9) Transferidor para ajuste angular da correia transportadora e 10) Estrutura metálica treliçada para suportar a correia transportadora.

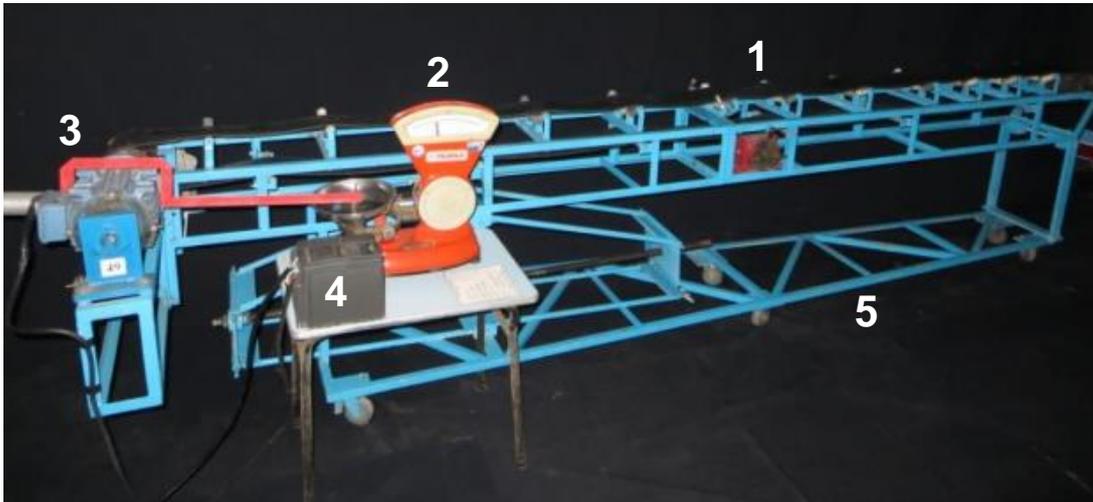


Figura 9: Equipamento inicial, antes das transformações realizadas pelo presente trabalho. 1) Correia transportadora composta pela borracha de 200 milímetros de largura, 4.000 milímetros de comprimento de transporte e 4.000 milímetros de comprimento de retorno, tambores de acionamento e de retorno, rolo de estiramento emborrachado, roletes auto alinhante, roletes de retorno e roletes de carga; 2) Balança para medição da força do motor elétrico; 3) Motor elétrico de 1 hp em balanço, com a carcaça móvel para o cálculo da potência mecânica; 4) Inversor de frequência; 5) Estrutura do equipamento.

A estrutura original do equipamento era operada somente na horizontal e sem variação da inclinação da mesa. No estudo do transporte de britas em diferentes angulações e velocidades, foram implantados no equipamento um motor elétrico trifásico e um inversor de frequência demonstrados na Figura 10, bem como uma estrutura metálica auxiliar de elevação, de acordo com a Figura 11. Foi instalado um sistema de elevação, composto por conjunto moto-redutor, com inversor de frequência, dispositivo de contra-recuo e cabos de aço em roldanas, conforme detalhado na Figura 12.

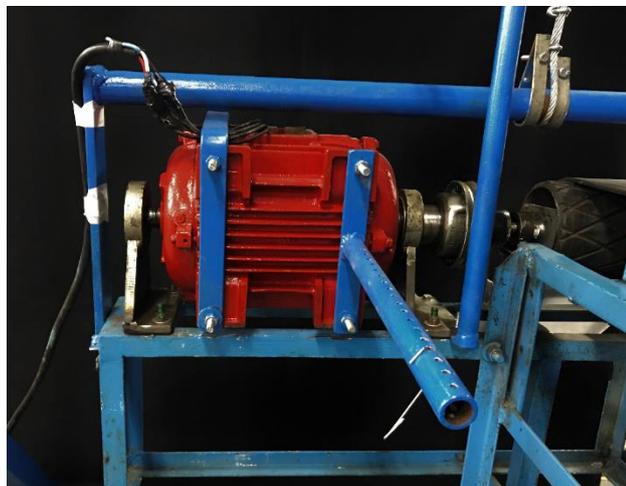


Figura 10: Motor elétrico trifásico da unidade piloto.

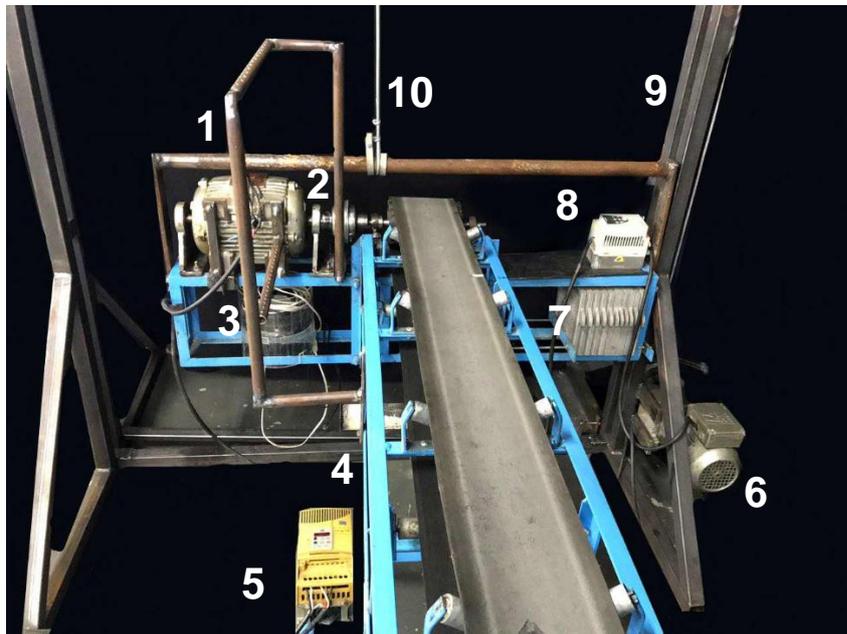


Figura 11: Conjunto de acionamento e elevação do equipamento. 1) Motor elétrico trifásico de marca Weg de 4 hp de potência para acionamento da correia; 2) Eixo do motor; 3) Braço acoplado ao motor para colocação de um dinamômetro; 4) Estrutura metálica do equipamento inicial; 5) Inversor de frequência da marca Weg; 6) Conjunto moto-reductor da marca Sew do Brasil e potência 0,25 kW para acionamento do sistema de elevação; 7) Contrapeso da estrutura; 8) Inversor de frequência da marca Toshiba, potência de 0,5 hp e 200 Hz de frequência do conjunto moto-reductor; 9) Estrutura auxiliar construída para elevar o equipamento inicial e 10) Cabo de aço preso em polias para sustentação da mesa de elevação.

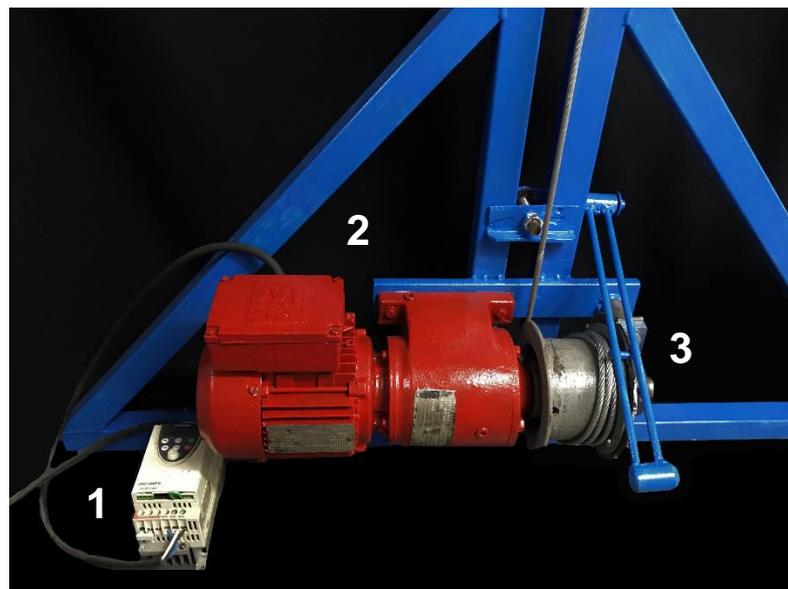


Figura 12: Sistema de elevação. 1) Inversor de frequência; 2) Conjunto moto-reductor; 3) Dispositivo de contra-recuo e cabos de aço em roldanas.

Foi desenvolvido um alimentador em acrílico, com um dosador volumétrico de seis hastes, com capacidade de rotação regulada por um moto-reductor de corrente contínua, apresentados nas Figuras 13 e 14 respectivamente.

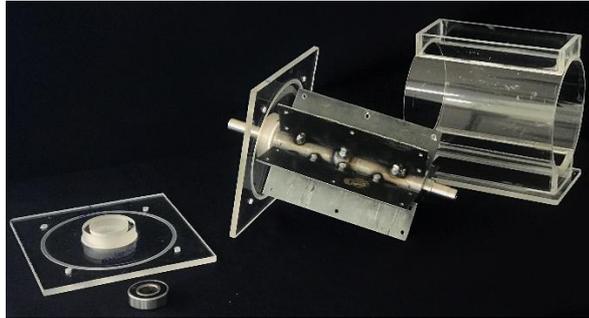


Figura 13: Imagem detalhada do dosador volumétrico construído

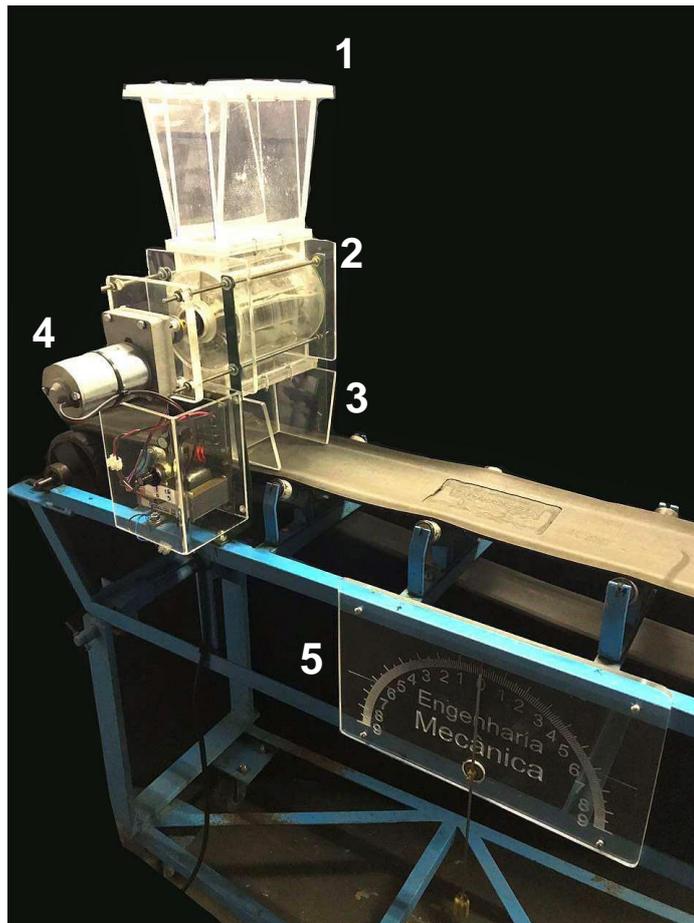


Figura 14: Alimentador desenvolvido inicialmente. 1) Canal de abastecimento; 2) Dosador volumétrico de seis hastes; 3) Saída do alimentador com direcionadores; 4) Conjunto moto-reductor da marca Motron e potência 43 Watts de acionamento do dosador e 5) Transferidor construído em acrílico para leitura do ângulo de inclinação.

Ao serem realizados os ensaios preliminares para teste do equipamento, foi observado que o sistema por alimentação com dosador volumétrico não seria eficiente. Quando colocada inclinação na correia, o alimentador inclinava junto com a mesa, implicando no acúmulo de brita na parede do dosador e impedindo sua rotação.

Assim, foi projetado um novo sistema de alimentação mais simples, sem o dosador volumétrico, apenas com um formato de caixa, com a funcionalidade de um silo e uma saída com abertura de 45 graus, conforme demonstrada na Figura 15. Inicialmente foi testada a eficiência do formato utilizando um protótipo, conforme Figura 16. Posteriormente, sendo aprovado o novo método de alimentação através de ensaios, foi construído o silo alimentador definitivo em acrílico como demonstrado nas Figuras 17 e 18.

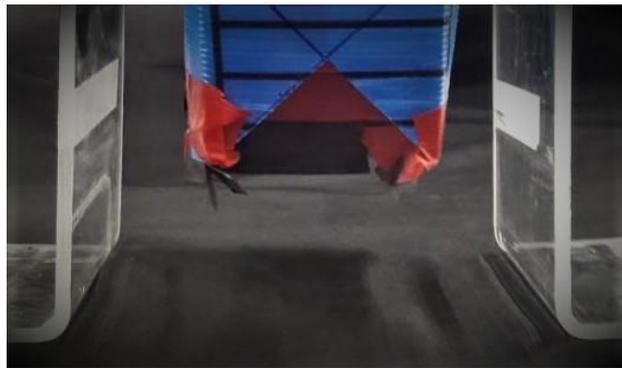


Figura 15: Saída do novo alimentador com ângulo de 45 graus de abertura.

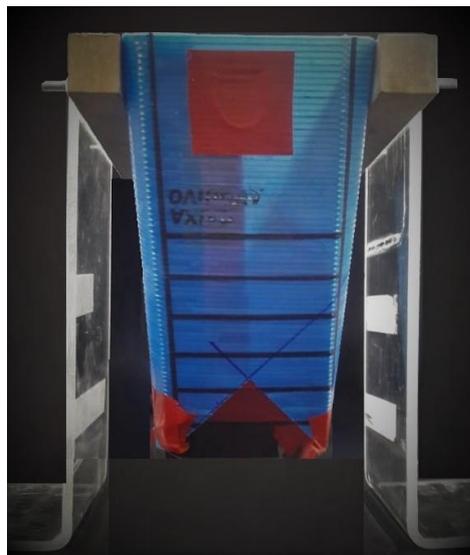


Figura 16: Protótipo do novo alimentador.

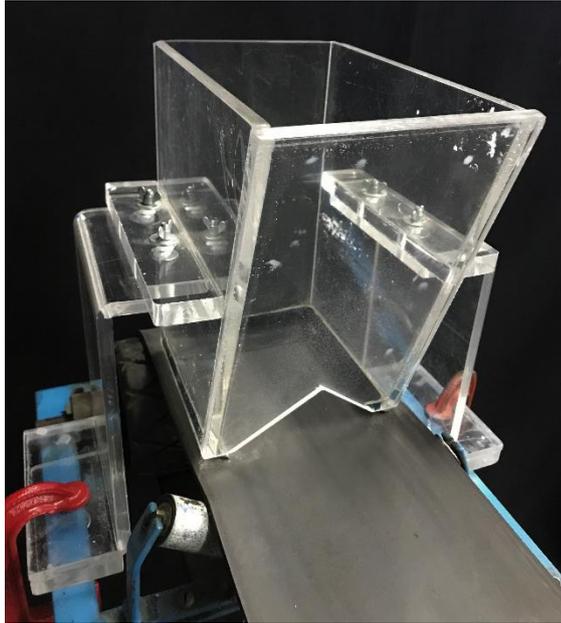


Figura 17: Alimentador em acrílico, definitivo da unidade piloto.

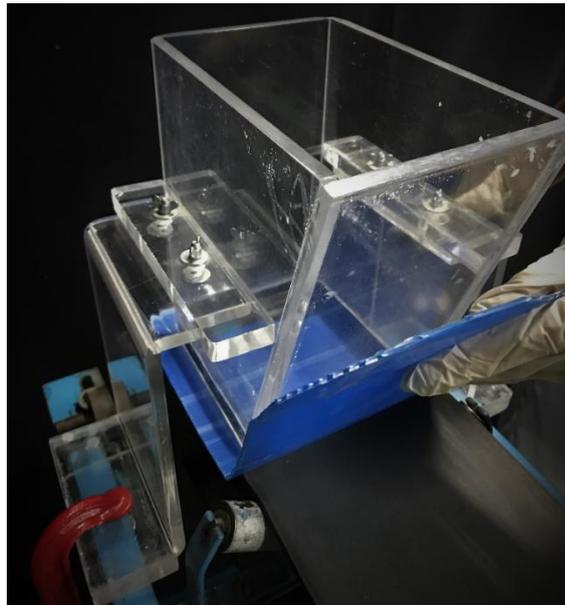


Figura 18: Alimentador em acrílico instalado na correia transportadora, com saída de 45 graus.

Após as modificações, a unidade piloto utilizada no presente estudo ficou, então, composta pela estrutura inicial, estrutura secundária para elevação, conjuntos moto-redutores de acionamento e alimentador, demonstrado na Figura 19.

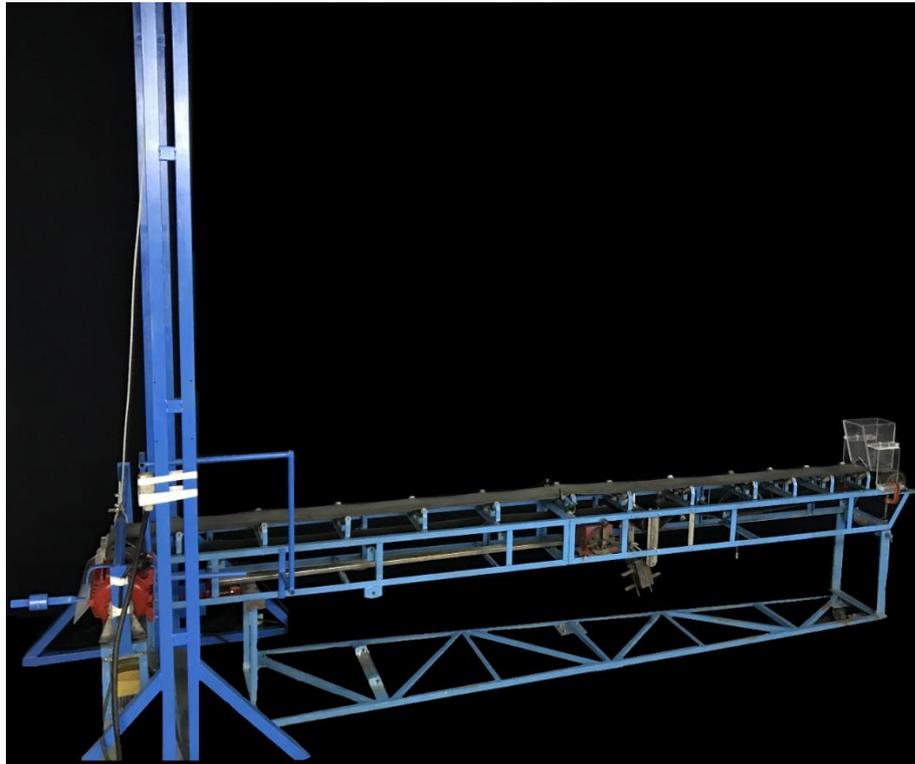


Figura 19: Unidade piloto de correia transportadora aperfeiçoada.

2.1.2 Determinação da amostra utilizada

Foi coletada uma amostra de brita zero em uma usina produtora de concreto para realização dos ensaios conforme Figuras 20 e 21, e determinadas as características da amostra, tais como: a) realização do processo de peneiramento; b) determinação do ângulo natural de repouso; c) aferição do limite de espalhamento; d) verificação do ângulo de escorregamento.



Figura 20: Amostra geral de brita zero.



Figura 21: Amostra de brita zero em bandeja para secagem.

De acordo com a Norma Brasileira NBR 7211/2009 – *Agregado para Concreto: Especificações*, brita zero ou pedrisco é o agregado graúdo que, ao passar pelo processo de peneiramento, fica retido entre as malhas de aberturas 4,75 mm e 9,5 mm.

O primeiro processo de caracterização foi o de peneiramento, o qual consistiu na passagem das britas por peneiras, cujas aberturas das malhas foram colocadas em ordem decrescente, de cima para baixo conforme Figuras 22 e 23.



Figura 22: Jogo de peneiras de Tyler.

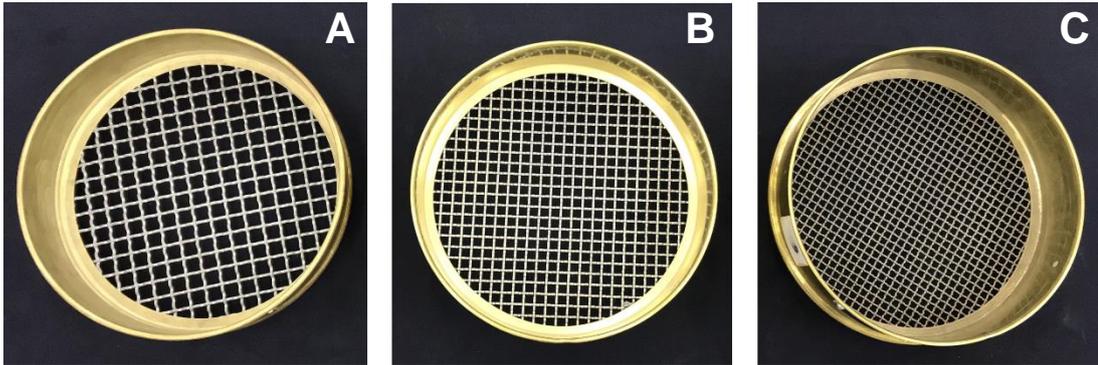


Figura 23: Peneiras utilizadas no processo de peneiramento da amostra. A) Malha de abertura 9,5 mm; B) Malha de abertura 6,3 mm e C) Malha de abertura 4,75 mm.

Após a separação das amostras pela retenção nas malhas e pesagem, foi possível notar, como apresentado na Tabela 2, que a malha de abertura de 6,3 mm foi a que obteve maior volume de massa, cerca de 50,43% em massa do total.

Tabela 2: Quantidade de amostra retida no processo de peneiramento

Abertura da Malha (mm)	9,5	6,3	4,75	<4,75
Quantidade Retida (% em massa)	15,01	50,43	24,19	10,37

Conforme demonstrado na Tabela 2, a amostra de brita zero retida na malha 6,3 mm foi a dimensão de brita que teve maior representatividade na amostra total, ao ser realizado o processo de peneiramento.

A partir desta informação, todos os estudos executados no presente trabalho foram feitos com essa seleção de amostra de brita zero.

2.1.3 Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição estão demonstrados nas Figuras 24 a 33.

A Figura 24 apresenta a estufa utilizada no processo de obtenção da massa constante, descrito no item 2.2.1.



Figura 24: Estufa de marca Marconi, modelo MA 035/630i de 4.500 Watts

As pesagens das amostras foram realizadas na balança apresentada na Figura 25.

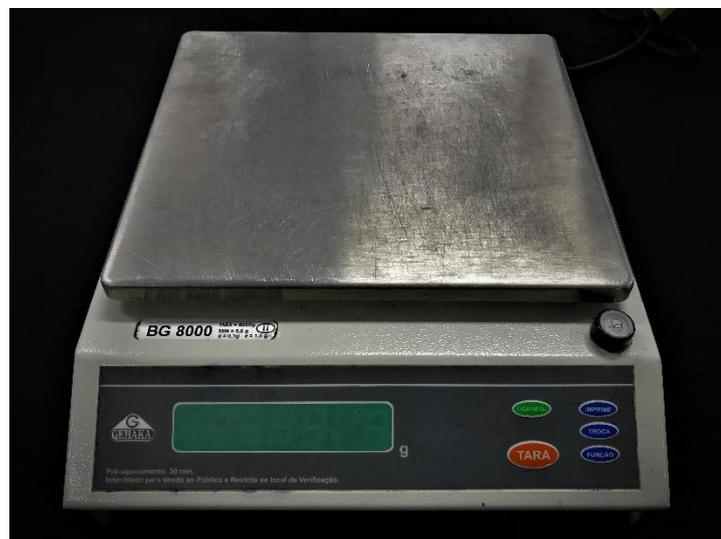


Figura 25: Balança de marca Gehaka, modelo BG 8.000, com capacidade mínima de 5 gramas e máxima de 8.000 gramas.

Os equipamentos utilizados para obtenção da força exercida pelo eixo do motor e a velocidade da correia durante os ensaios estão demonstrados nas Figuras 26 e 27.



Figura 26: Dinamômetro de marca Instrutherm, modelo DD-500.



Figura 27: Tacômetro de marca Lutron, modelo DT 2236 e capacidade máxima de 100.000 rpm.

Os instrumentos apresentados nas Figuras 28, 29 e 30 foram utilizados para as aferições necessárias durante o presente estudo.



Figura 28: Paquímetro de marca Mitutoyo de 150 mm.



Figura 29: Régua de nível de marca Stanley e base com ímã.

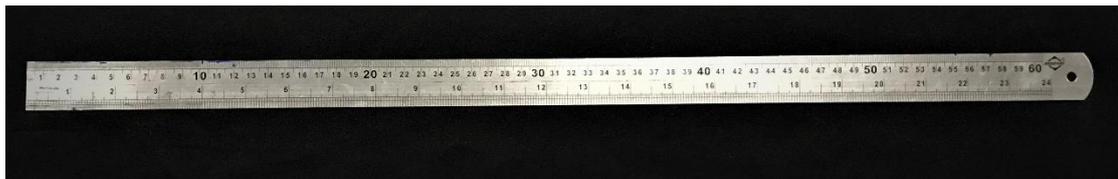


Figura 30: Escala metálica de 600 mm.

A Figura 31 demonstra os equipamentos utilizados no ensaio de determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento, enquanto a Figura 32 apresenta a bancada desenvolvida para o ensaio do ângulo de escorregamento das britas zero.

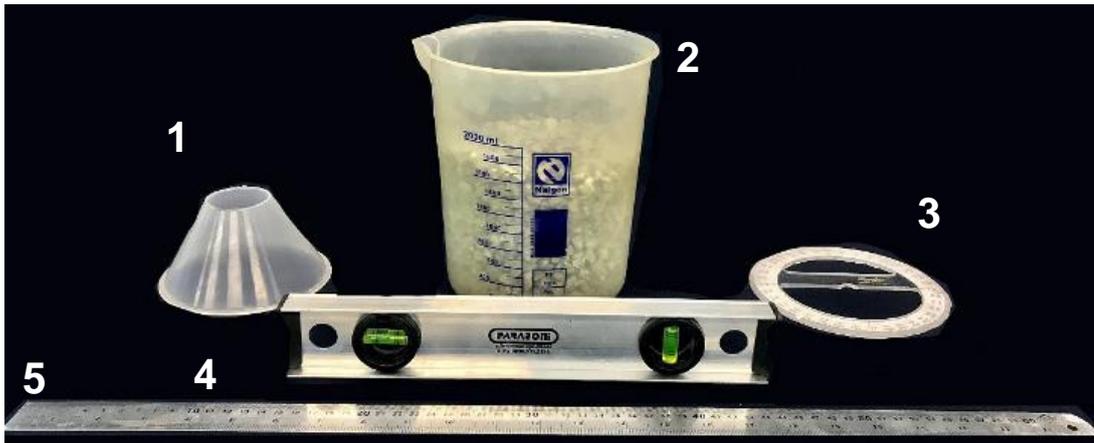


Figura 31: Material utilizado para determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento. 1) Funil; 2) 2500 gramas de brita zero em béquer; 3) Transferidor transparente de 360°; 4) Régua niveladora e 5) Escala metálica de 100 cm.

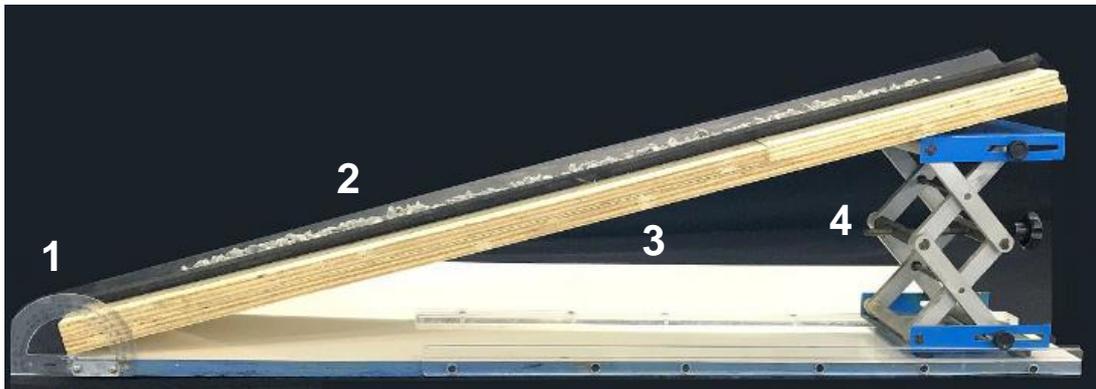


Figura 32: Bancada de ensaios do ângulo de e escorregamento das britas em borracha estática, com suporte elevador de laboratório. 1) Transferidor transparente de 180°; 2) Amostra da borracha da correia da unidade piloto; 3) Prancha de madeira de 1000 milímetros e 4) Suporte elevador de laboratório.

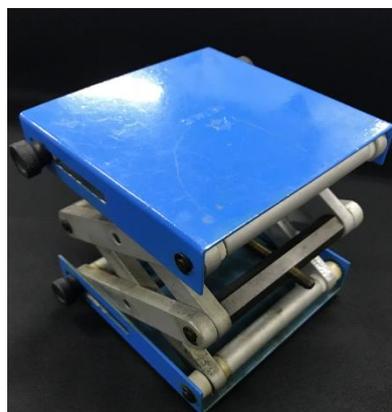


Figura 33: Suporte elevador de laboratório.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Determinação da umidade inicial

O método da massa constante após secagem foi utilizado para homogeneização da umidade inicial das britas.

A amostra geral de brita foi distribuída em bandejas metálicas e pesadas as massas iniciais. Em seguida, foram colocadas em uma estufa de marca Marconi, modelo MA 035/630i de 4.500 Watts à 100°C. A cada dez horas as bandejas foram retiradas da estufa e as massas das britas foram pesadas. Em seguida, as mesmas foram colocadas de volta na estufa.

O processo foi repetido durante 3 dias consecutivos, até que se estabeleceu um valor de massa constante das bandejas e, conseqüentemente, a mesma umidade nas britas. Os resultados obtidos nas pesagens encontram-se apresentados na Apêndice B.

2.2.2 Caracterização das britas

As características do material transportado exercem influência sobre a determinação da correia transportadora. Assim, foram realizados os seguintes ensaios com as britas em estudo:

a) **Determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento**

O ângulo de repouso e o limite de espalhamento são fatores que auxiliam na determinação do ângulo de acomodação do material na correia e o método de alimentação do equipamento.

Neste ensaio foi desenvolvido um método de ensaio, no qual foram selecionadas duas mil e quinhentas gramas de brita e despejadas através de um funil, à uma altura de cem milímetros de uma mesa nivelada com uma régua de nível. Foi medida a altura do talude formado pelas britas com uma escala de cem centímetros, demonstrada na Figura 34 bem como o ângulo de repouso no topo do talude com um transferidor transparente de 180°.

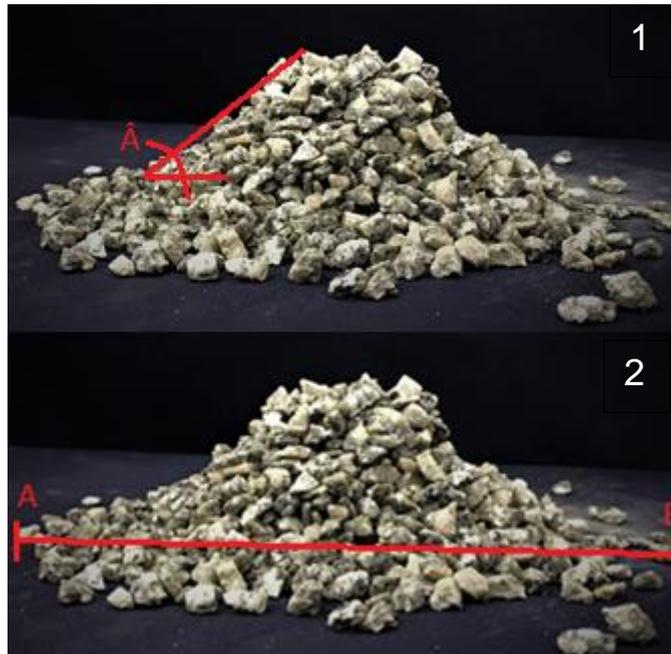


Figura 34: Imagem do talude com ângulo de repouso natural das britas.

1) Ângulo de inclinação natural do talude; 2) Espalhamento máximo entre as britas.

O espalhamento foi medido entre os pontos das britas mais distantes (A e B da Figura 33-2) com uma escala de mil milímetros.

Ambos os métodos foram repetidos três vezes, obtendo os resultados conforme o Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do ensaio de determinação do ângulo de repouso natural e limite de espalhamento das britas.

Ensaio	Altura do talude (mm)	Ângulo de topo (°)	Espalhamento (mm)
I	97,0	46,0	690,0
II	94,0	42,0	689,0
III	94,0	45,0	559,0
Média	95,0	44,3	646,0

De acordo com a Tabela 3, construída a partir dos resultados coletados nos ensaios, o ângulo médio de acomodação da brita foi de 44,3°, sendo então construída a saída do alimentador da correia conforme citado no item 2.1.2, “Unidade piloto de correia transportadora”, Figura 15, com 45°.

O espalhamento médio de 646,0 mm indica que, dependendo da inclinação da mesa e da velocidade da correia, pode ocorrer perda de material no momento da alimentação, uma vez que a borracha do equipamento possui 200 mm.

b) Determinação do ângulo de escorregamento

Afim de se determinar o ângulo de escorregamento das britas foi desenvolvida uma bancada experimental conforme a Figura 35. O equipamento foi composto por uma prancha de madeira de 1.000 mm coberta pela amostra igual à unidade piloto, um suporte elevador posicionado entre limitadores de acrílico com deslocamento linear e um transferidor fixado no eixo zero de inclinação da base.



Figura 35: Bancada experimental para ensaio de escorregamento das britas em borracha estática, com elevação dada pelo suporte elevador.

Foram colocadas amostras da brita em 800 mm da borracha, com afastamento das extremidades de cem milímetros afim de possibilitar a visualização da movimentação do material durante a inclinação da prancha. A altura das britas na borracha foi determinada através de uma régua com os mesmos parâmetros da saída do alimentador da unidade piloto.

O suporte elevador manteve-se posicionado no cateto adjacente, iniciando-se o ensaio a partir da altura do macaquinho fechado, o que representa um ângulo inicial de inclinação da mesa de 15° , enquanto as britas permaneceram estáticas.

Nesse ensaio foram obtidos os ângulos de inclinação através do transferidor, dados pela abertura do suporte elevador, analisando-se o comportamento das britas em relação ao escorregamento, conforme dados das Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4: Resultados do primeiro ensaio de escorregamento.

Ângulo de inclinação (°)	Situação da amostra
15	Parada
16	Parada
17	1ª movimentação
24	Escorregamento total

Tabela 5: Resultados do segundo ensaio de escorregamento.

Ângulo de inclinação (°)	Situação da amostra
15	Parada
16	1ª movimentação
23	Escorregamento total

Tabela 6: Resultados do terceiro ensaio de escorregamento.

Ângulo de inclinação (°)	Situação da amostra
15	Parada
16	Parada
17	1ª movimentação
23	Escorregamento total

Através deste ensaio de escorregamento das britas foi determinado o ângulo máximo de inclinação da unidade piloto de correia transportadora de 23,5°. Considerando que o ensaio foi realizado em bancada estática, os estudos efetuados na correia transportadora foram de 0° até 25 ° de inclinação do equipamento, para melhor precisão na obtenção de dados e análise do comportamento das britas.

2.2.3 Ensaio na unidade piloto para obtenção da potência consumida pelo motor elétrico, quando variada a velocidade e o ângulo de inclinação da correia.

Afim de se determinar a potência consumida no motor elétrico em balanço da unidade piloto da correia transportadora em estudo, foram determinados parâmetros de ensaio conforme descritos no Quadro 3.

Foram testados os limites máximo e mínimo do equipamento, sendo a inclinação mínima de 0° e a máxima de 25°, dados pelos resultados do ensaio de escorregamento do material à ser transportado. As velocidades variaram entre 0,5 m/s e 1,0 m/s, sendo 0,5 m/s o valor inicial dado pelo conjunto de acionamento da unidade piloto e 1,0 m/s fixado por motivos de segurança.

Foram realizados ensaios nos graus de 0, 5, 10, 15, 20 e 25, bem como velocidades de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1,0 m/s.

Quadro 3: Descrição dos procedimentos realizados nos ensaios na unidade piloto.

Procedimento	Descrição
1	Pesados oito béqueres com 5.000 gramas de brita
2	Colocada a estrutura da unidade piloto de correia no ângulo desejado para realização do ensaio
3	Ligado o conjunto de acionamento do equipamento através do inversor de frequência
4	Medida a velocidade (m/min) da correia com um tacômetro, ajustando-a sempre no valor exato do ensaio em questão
5	Medida a rotação (rpm) no eixo aparente do motor elétrico com um tacômetro
6	Calculada a velocidade angular e comparada com a velocidade no tacômetro, afim de se avaliar a tensão na correia para que os ensaios não fossem realizados com a borracha patinando
7	Medida a força no motor elétrico em balanço através de um dinamômetro
8	Anotados os resultados encontrados com a correia sem o carregamento das britas
9	Separados dois béqueres, totalizando uma amostra inicial de 10.000 gramas de brita
10	Iniciado o carregamento manual da correia com as britas, mantendo-as na caixa alimentadora
11	Retirada a comporta do alimentador e aguardado o preenchimento total da correia para início das medições
12	Medida a rotação (rpm) no eixo aparente do motor elétrico com um tacômetro, dessa vez com a correia cheia de britas
13	Medida a força no motor elétrico em balanço através de um dinamômetro

Continua.

Quadro 3: Descrição dos procedimentos realizados nos ensaios na unidade piloto.
(Continuação)

Procedimento	Descrição
14	Aguardada a finalização do transporte das britas através da correia
15	Desligado o equipamento quando as britas não conseguiram mais vencer a inclinação da correia e formaram grandes intervalos entre si
16	Pesada a quantidade de amostra final
17	Anotados os resultados
18	Repetidos os ensaios três vezes para cada ângulo e velocidade

A partir dos dados obtidos nestes ensaios, foram calculadas as potências consumidas pelo motor elétrico em todas as variações de angulação e velocidade, bem como a perda de material durante o transporte.

Na equação (4) temos a definição de potência:

$$\text{Pot} = \frac{W}{t} \Rightarrow \text{Pot} = \frac{F \cdot \Delta S}{\Delta t} \Rightarrow \text{Pot} = F \cdot v \quad (4)$$

Sendo:

Pot a potência consumida pelo motor elétrico em balanço (hp);

W o trabalho (N.m);

t o tempo de transporte (s);

ΔS a variação do espaço percorrido (m);

Δt a variação do tempo (s);

F a força exercida pelo motor (N);

v a velocidade (m/s).

O motor utilizado na unidade piloto foi colocado em balanço e com um braço acoplado ao eixo, como apresentado na Figura 10, podendo assim ser calculada a velocidade angular para definição da potência consumida conforme a equação (5):

$$v = \omega \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot b \quad (5)$$

Na qual:

ω é a velocidade angular;

R é o raio (m);

n é o número de rotações por minuto no eixo do motor (rpm);

b é o braço acoplado ao eixo do motor (m).

A potência consumida (Pot) foi diretamente quantificada pelo produto da força (F) multiplicada pela velocidade angular:

$$\text{Pot} = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot b \quad (6)$$

Sendo:

F a força lida no dinamômetro (N);

n o número de rotações no eixo do motor lido no tacômetro (rpm);

b o tamanho do braço acoplado ao eixo do motor (m).

Ainda, foram determinadas as perdas em cada processo, através da diferença de massa da entrada e da saída dada pela equação (7), pesadas sempre após a finalização de cada ensaio.

$$Q_P = Q_e - Q_s \quad (7)$$

Em que:

Q_P é a quantidade de massa perdida durante o transporte (g) ;

Q_e é a quantidade de amostra de entrada (g);

Q_s é a quantidade de amostra de saída (g).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Apresentação dos resultados coletados nos ensaios

Ao serem finalizadas as alterações e o desenvolvimento do equipamento, foram iniciados os ensaios para coleta de dados.

A correia foi posicionada nos ângulos de 0, 5, 10, 15, 20 e 25 graus, sendo coletadas as velocidades de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1,0 m/s através do tacômetro, bem como a rotação por minuto no eixo do motor elétrico. As vazões de brita variaram com as velocidades em função da característica do alimentador. A potência (W) foi calculada de acordo com a equação 9.

Foram realizadas triplicatas para melhor precisão e qualidade dos resultados, estando estes apresentados detalhadamente na Apêndice 1. A média dos resultados pode ser observada na tabela 7.

Tabela 7: Resultado dos valores médios coletados nos ensaios.

Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência calculada no eixo do motor (W) *	Vazão (ton/h)
0,00	0,50	80,60	32,85	91,40	3,13
0,00	0,60	95,93	32,73	108,48	3,37
0,00	0,70	112,27	32,91	127,66	3,37
0,00	0,80	129,23	32,53	145,30	2,95
0,00	0,90	144,73	32,45	162,29	3,59
0,00	1,00	159,60	33,02	182,14	3,38
5,00	0,50	80,03	31,07	85,92	2,55
5,00	0,60	95,97	31,48	104,41	2,62
5,00	0,70	112,77	30,90	120,40	2,79
5,00	0,80	129,03	31,99	142,58	2,89
5,00	0,90	144,33	30,01	149,70	2,92
5,00	1,00	159,67	37,95	209,49	3,01
10,00	0,50	80,10	26,17	72,43	2,17
10,00	0,60	95,83	25,47	84,36	2,36
10,00	0,70	113,00	27,70	108,15	2,49
10,00	0,80	127,03	28,31	124,28	2,56
10,00	0,90	144,27	31,46	156,83	2,70
10,00	1,00	160,93	31,19	173,47	2,61
15,00	0,50	78,73	26,40	71,88	1,92
15,00	0,60	92,83	21,51	69,10	2,06

Continua.

Tabela 7: Resultado dos valores médios coletados nos ensaios. (Continuação)

Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência calculada no eixo do motor (W) *	Vazão (ton/h)
15,00	0,70	109,87	24,65	93,60	2,20
15,00	0,80	123,80	25,14	107,58	2,27
15,00	0,90	142,33	25,60	125,90	2,40
15,00	1,00	158,67	25,28	138,59	2,36
20,00	0,50	119,07	26,04	105,31	1,61
20,00	0,60	97,10	29,20	97,96	1,73
20,00	0,70	110,10	29,57	112,51	1,92
20,00	0,80	128,33	31,55	139,87	1,96
20,00	0,90	141,20	31,60	154,19	2,04
20,00	1,00	159,23	30,82	169,58	2,08
25,00	0,50	77,87	27,05	72,64	1,37
25,00	0,60	89,30	28,75	88,72	1,47
25,00	0,70	108,93	29,38	110,59	1,56
25,00	0,80	123,03	29,84	126,86	1,71
25,00	0,90	141,77	29,21	143,05	1,78
25,00	1,00	158,57	28,72	157,38	1,66

$$* \text{Pot} = F \cdot b \cdot 2\pi \cdot n \rightarrow 32,85\text{N} \cdot 0,33\text{m} \cdot 2\pi \cdot (80,60 \text{ rpm}) \cdot \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) \rightarrow \text{Pot} = 91,40\text{W}$$

Sendo b o braço acoplado ao motor em balanço de 0,33m.

Em relação à perda de materiais, foi possível notar nos ensaios que quanto maior a inclinação da mesa, maior a dificuldade para todas as britas saírem do alimentador e serem transportadas na correia. Sendo assim, as perdas aumentaram a partir do ângulo de 15°, como observado na Figura 36 e demonstrados na Tabela 8, devido à formação da zona morta no alimentador.

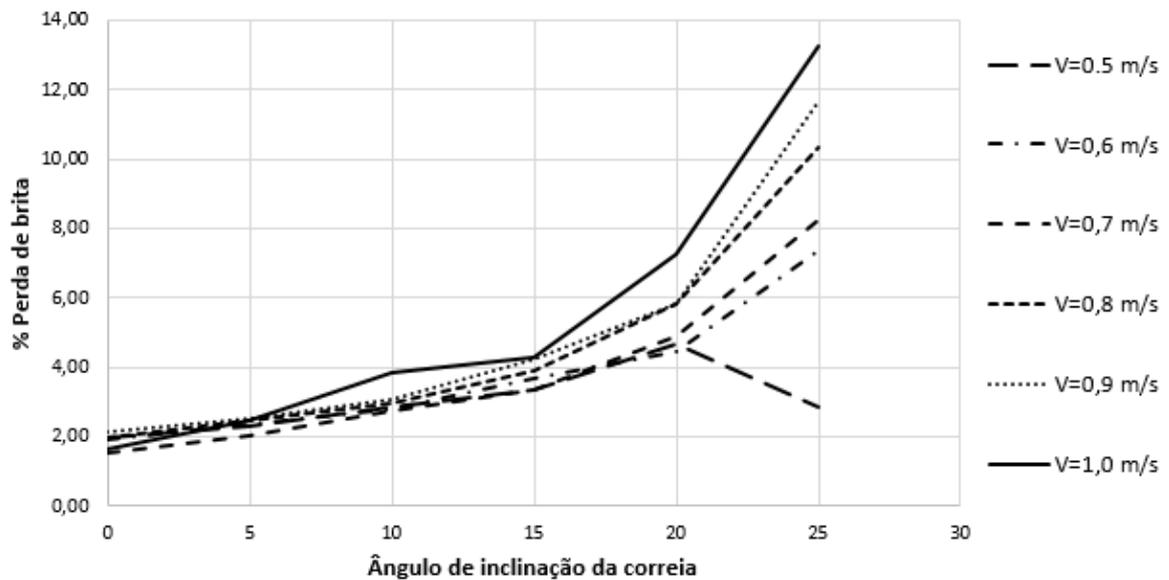


Figura 36: Porcentagem de perda de material em relação ao ângulo de inclinação e a velocidade da correia transportadora.

Sabendo que em todos os ensaios foram utilizados 10.000 gramas de brita, a Tabela 8 foi construída com a finalidade de analisar a potência (hp) em relação à quantidade de massa (ton/h) pelo tamanho da correia (3,60 m).

Tabela 8: Resultado da análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia.

Velocidade da correia (m/s)	Ângulo de inclinação (graus)	Pot / Q.L (hp/(ton/h)xL)	Porcentagem de perda de material (%)
0,5	0	0,14	1,96
0,5	5	0,16	2,32
0,5	10	0,16	2,85
0,5	15	0,18	3,36
0,5	20	0,24	4,66
0,5	25	0,26	2,84
0,6	0	0,16	1,91
0,6	5	0,19	2,37
0,6	10	0,17	2,81
0,6	15	0,19	3,67
0,6	20	0,27	4,47
0,6	25	0,29	7,37

Continua.

Tabela 8: Resultado da análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia. (Continuação)

Velocidade da correia (m/s)	Ângulo de inclinação (graus)	Pot / Q.L (hp/(ton/h)xL)	Porcentagem de Perda de Material (%)
0,7	0	0,18	1,56
0,7	5	0,21	2,04
0,7	10	0,21	2,74
0,7	15	0,21	3,33
0,7	20	0,28	4,87
0,7	25	0,34	8,27
0,8	0	0,24	1,97
0,8	5	0,24	2,48
0,8	10	0,23	2,99
0,8	15	0,23	3,93
0,8	20	0,34	5,82
0,8	25	0,36	10,33
0,9	0	0,22	2,15
0,9	5	0,25	2,53
0,9	10	0,28	3,10
0,9	15	0,25	4,24
0,9	20	0,37	5,82
0,9	25	0,39	11,69
1,0	0	0,26	1,65
1,0	5	0,28	2,45
1,0	10	0,32	3,87
1,0	15	0,28	4,31
1,0	20	0,39	7,24
1,0	25	0,46	13,28

Foram plotados os dados no ábaco apresentado na Figura 37, com o intuito de facilitar a leitura da potência em função da velocidade da correia, do ângulo de inclinação da mesa e da porcentagem média de perda de material durante o transporte.

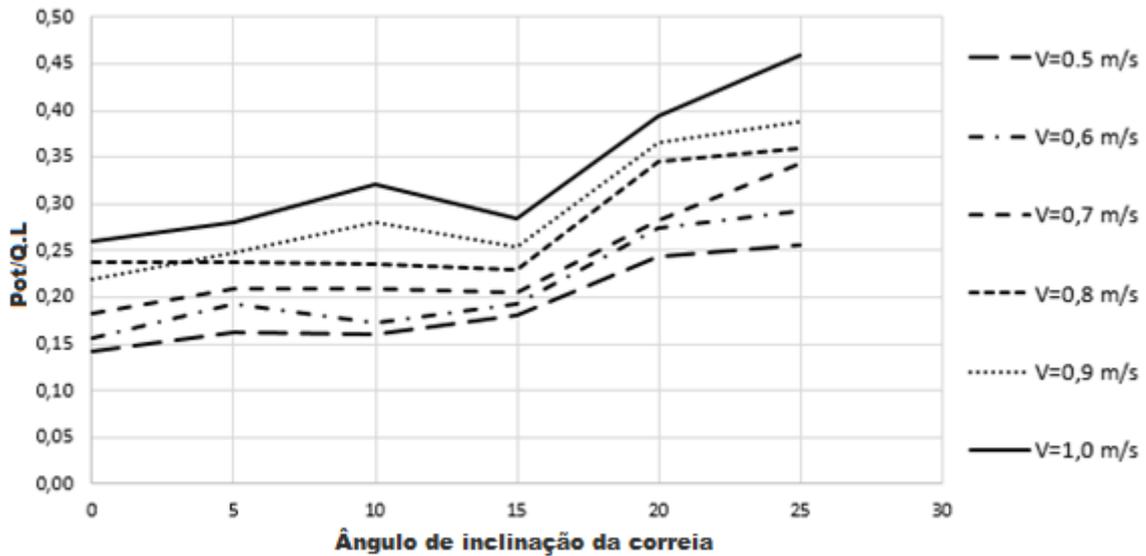


Figura 37: Potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia, em função da velocidade e o ângulo de inclinação.

Os valores apresentados no ábaco estão associados ao transporte de brita zero retidas na malha 6.3 mm de acordo com a Norma Brasileira NBR 7211/2009, em uma correia transportadora com comprimento útil de 3,60 m.

3.2 Estudo de caso.

Exemplo numérico de aplicação dos dados

Considerando que uma indústria pretende transportar 2 toneladas de britas zero peneiradas na malha de 6,3 mm em uma correia transportadora de 2 metros, com inclinação de 10° e velocidade 0,8 m/s, foi possível determinar a potência consumida e a perda aproximada de materiais através dos ábacos apresentados nas Figuras 36 e 37.

De acordo com o ábaco da figura 37, com uma inclinação de 10° e velocidade de 0,8 m/s, a relação da potência pela massa transportada e o comprimento da correia foi:

$$\frac{\text{Pot}}{(\text{Q.L})} = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \quad (8)$$

Calculando para o exemplo citado, a potência consumida foi de:

$$\frac{\text{Pot}}{(\text{Q.L})} = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \rightarrow N = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \cdot 2 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \cdot 2\text{m} = 0,96 \text{ hp} \quad (9)$$

Ainda, de acordo com o ábaco da Figura 36, a perda de material foi de aproximadamente 3% da massa transportada.

4 CONCLUSÃO

- I. O equipamento desenvolvido demonstrou capacidade satisfatória para obtenção de dados nas condições solicitadas pelo presente estudo; sendo possível analisar a variação da potência consumida pelo motor elétrico ao serem variadas as velocidades e angulações da correia;
- II. Através dos dados obtidos foi possível notar o aumento da perda de material quando utilizada a correia transportadora em elevações acima de 15°;
- III. Acredita-se que o aumento da perda de brita nos ângulos de 15°, 20° e 25° tenha ocorrido devido ao maior acúmulo de material na zona morta no ponto de alimentação da correia;
- IV. O ábaco desenvolvido apresenta facilidade na obtenção de informações, porém encontra-se limitado em relação ao tipo de material transportado.

4.1 Sugestão para trabalhos futuros

Como proposta para trabalhos futuros recomenda-se:

- I. Construir uma válvula rotativa de diâmetro suficiente para a utilização de brita zero;
- II. Fixar o alimentador na base da estrutura da unidade piloto, de maneira que ele não incline junto ao ângulo da correia e acumulando, possivelmente, menor quantidade de amostra na zona morta;
- III. Colocar limitadores laterais na correia para evitar a perda excessiva de material quando transportadas grandes quantidades;
- IV. Repetir os ensaios com amostra de brita zero retida na malha de abertura 4,75 milímetros por ser a segunda maior influência da amostra total;
- V. Refazer os ensaios com amostra de brita zero retida na malha de abertura 9,5 milímetros por ser a malha de maior abertura e possível comportamento diferente do material;
- VI. Investigar a influência da umidade no transporte;
- VII. Estudar o transporte de cereais na unidade piloto de correia.

5 REFERÊNCIAS

1. TAVARES, A. M.; FARIAS, A. A. *Estudo do aumento espontâneo na velocidade de partículas em transportadores de correia*. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 4, n.1. Trabalho apresentado no DINCON. Natal, RN, Brasil. 2016.
2. ALVES, V. C. A.; PAES, R. de B.; PAIVA, R. P. O. *Modelagem do planejamento da produção em uma indústria de agregados para construção civil*. Congress Latino-Iberoamericano de Investigação Operacional. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Setembro, 2012.
3. MORAES, M. S. de. *Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP, Brasil. 2012.
4. SANTOS, D. A.; MALAGONI, R.A. *Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de comparação dos métodos cema e prático*. Revista HOLOS. 3. 358. 10.15628/holos.2014.1780. Dezembro, 2013.
5. PEDROSO. Revista Concreto & Construções. Ibracon – Instituto Brasileiro de Concreto. Ano XXXVII n.53 Jan., Fev., Mar., 2009.
6. SILVA, W. R. L. da. *Concreto dosado em central: proposta de metodologia de controle de qualidade e identificação das causas de variabilidade no processo de produção de concreto*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, SC, Brasil. 2010.
7. NBR 7211/2009. Associação brasileira de normas técnicas, Norma Brasileira 7211: Agregados para concreto – Especificações. Terceira edição. 29/04/2009.

8. POLESELLO, E.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, Denise Carpena; MASUERO, Angela Borges. *Proposta para utilização total dos resíduos gerados por usinas dosadoras de concreto*. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2010.
9. ALLIS, Mineral Systems. *Manual de Transportadores Contínuos*. Publicação Técnica. Editora Faço. 4ª edição. São Paulo, Brasil, 1991.
10. IMF, *International Monetary Fund*. 2018. Acesso em: Junho/2018.
11. Ministério da Agricultura e Pecuária. 2017. Acesso em: Maio/2018.

6 APÊNDICES

APÊNDICE A: Dados coletados no transporte de brita zero em unidade piloto de correia transportadora desenvolvida.

Apresentação dos dados coletados nas triplicatas dos ensaios de transporte de brita zero retida na peneira de malha 6.3 mm, variando o ângulo de inclinação e a velocidade da correia transportadora.

Tabela A1 – Variação da velocidade com inclinação de 0°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
0	0,50	206,900	81,00	30,69	85,906	2,07
	0,60	171,300	95,20	33,96	111,724	1,71
	0,70	150,800	112,10	33,87	131,209	1,51
	0,80	188,000	128,90	31,94	142,276	1,88
	0,90	223,300	145,30	31,46	157,967	2,23
	1,00	151,100	160,60	33,05	183,425	1,51

Tabela A2 – Variação da velocidade com inclinação de 0°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
0	0,50	206,900	78,70	36,21	98,479	2,07
	0,60	207,600	96,20	32,33	107,479	2,08
	0,70	154,900	112,00	32,79	126,912	1,55
	0,80	210,600	128,10	32,56	144,137	2,11
	0,90	223,800	144,00	32,83	163,371	2,24
	1,00	229,500	160,60	33,67	186,866	2,30

Tabela A3 – Variação da velocidade com inclinação de 0°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
0	0,50	173,700	82,10	31,66	89,825	1,74
	0,60	195,100	96,40	31,89	106,237	1,95
	0,70	161,000	112,70	32,06	124,862	1,61
	0,80	191,000	130,70	33,10	149,502	1,91
	0,90	197,900	144,90	33,06	165,544	1,98
	1,00	113,700	157,60	32,34	176,132	1,14

Tabela A4 – Variação da velocidade com inclinação de 5°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
5	0,50	232,200	79,60	31,97	87,942	2,32
	0,60	240,400	95,60	31,44	103,868	2,40
	0,70	187,600	112,90	30,76	120,011	1,88
	0,80	262,300	128,30	35,70	158,284	2,62
	0,90	238,500	144,30	30,16	150,397	2,39
	1,00	309,500	159,70	31,11	171,691	3,10

Tabela A5 – Variação da velocidade com inclinação de 5°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
5	0,50	231,300	80,00	31,29	86,504	2,31
	0,60	217,100	96,20	32,17	106,947	2,17
	0,70	213,000	111,60	31,12	120,018	2,13
	0,80	245,500	128,80	30,66	136,468	2,46
	0,90	244,100	144,00	29,86	148,592	2,44
	1,00	243,000	160,10	50,44	279,067	2,43

Tabela A6 – Variação da velocidade com inclinação de 5°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
5	0,50	232,300	80,50	29,95	83,317	2,32
	0,60	253,300	96,10	30,84	102,419	2,53
	0,70	212,100	113,80	30,81	121,165	2,12
	0,80	236,600	130,00	29,60	132,977	2,37
	0,90	277,400	144,70	30,02	150,114	2,77
	1,00	181,800	159,20	32,30	177,700	1,82

Tabela A7 – Variação da velocidade com inclinação de 10°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
10	0,50	270,700	80,90	25,42	71,067	2,71
	0,60	268,400	96,30	25,96	86,392	2,68
	0,70	271,900	112,80	28,97	112,928	2,72
	0,80	296,000	128,80	28,77	128,056	2,96
	0,90	319,900	144,40	31,98	159,584	3,20
	1,00	378,500	161,60	31,88	178,034	3,79

Tabela A8 – Variação da velocidade com inclinação de 10°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
10	0,50	286,200	80,00	27,38	75,695	2,86
	0,60	285,000	95,50	24,96	82,374	2,85
	0,70	298,200	113,50	27,36	107,314	2,98
	0,80	313,500	126,10	27,45	119,619	3,14
	0,90	302,400	144,60	30,90	154,408	3,02
	1,00	490,400	160,20	30,31	167,800	4,90

Tabela A9 – Variação da velocidade com inclinação de 10°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
10	0,50	299,000	79,40	25,7	70,517	2,99
	0,60	289,900	95,70	25,49	84,299	2,90
	0,70	250,600	112,70	26,76	104,220	2,51
	0,80	286,800	126,20	28,70	125,165	2,87
	0,90	307,900	143,80	31,49	156,486	3,08
	1,00	291,400	161,00	31,38	174,591	2,91

Tabela A10 – Variação da velocidade com inclinação de 15°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
15	0,50	378,500	76,50	25,65	67,810	3,79
	0,60	349,700	92,20	13,50	43,014	3,50
	0,70	344,900	108,10	24,67	92,159	3,45
	0,80	401,800	122,20	24,46	103,293	4,02
	0,90	439,800	142,30	25,60	125,889	4,40
	1,00	440,900	159,30	25,12	138,286	4,41

Tabela A11 – Variação da velocidade com inclinação de 15°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
15	0,50	303,000	80,10	28,28	78,281	3,03
	0,60	380,200	93,50	24,86	80,326	3,80
	0,70	330,100	112,20	24,73	95,887	3,30
	0,80	393,600	125,90	25,35	110,293	3,94
	0,90	435,100	142,60	25,70	126,647	4,35
	1,00	396,000	159,70	25,09	138,468	3,96

Tabela A12 – Variação da velocidade com inclinação de 15°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
15	0,50	327,800	79,60	25,28	69,540	3,28
	0,60	369,800	92,80	26,18	83,958	3,70
	0,70	322,500	109,30	24,56	92,766	3,23
	0,80	382,800	123,30	25,62	109,165	3,83
	0,90	395,900	142,10	25,49	125,172	3,96
	1,00	457,400	157,00	25,62	139,002	4,57

Tabela A13 – Variação da velocidade com inclinação de 20°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
20	0,50	544,900	131,10	17,96	81,368	5,45
	0,60	411,400	97,40	29,42	99,025	4,11
	0,70	438,100	111,10	28,30	108,653	4,38
	0,80	661,200	130,80	31,89	144,147	6,61
	0,90	509,600	141,30	31,08	151,763	5,10
	1,00	673,600	160,00	29,91	165,378	6,74

Tabela A14 – Variação da velocidade com inclinação de 20°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
20	0,50	440,200	100,60	30,63	106,485	4,40
	0,60	444,400	96,10	30,09	99,928	4,44
	0,70	493,800	109,20	29,27	110,456	4,94
	0,80	547,000	128,90	30,05	133,857	5,47
	0,90	651,800	140,80	31,88	155,118	6,52
	1,00	782,100	158,40	29,35	160,659	7,82

Tabela A15 – Variação da velocidade com inclinação de 20°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
20	0,50	411,400	125,50	29,53	128,071	4,11
	0,60	485,500	97,80	28,09	94,936	4,86
	0,70	530,500	110,00	31,15	118,411	5,31
	0,80	537,600	125,30	32,70	141,593	5,38
	0,90	585,000	141,50	31,84	155,694	5,85
	1,00	717,500	159,30	33,19	182,711	7,18

Tabela A16 – Variação da velocidade com inclinação de 25°.

ENSAIO 1						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
25	0,50	349,700	80,70	24,25	67,628	3,50
	0,60	760,400	89,30	28,76	88,753	7,60
	0,70	905,500	110,20	29,50	112,343	9,06
	0,80	971,700	121,20	29,30	122,719	9,72
	0,90	1145,100	142,20	29,23	143,639	11,45
	1,00	1280,600	156,60	28,17	152,448	12,81

Tabela A17 – Variação da velocidade com inclinação de 25°.

ENSAIO 2						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
25	0,50	274,400	78,00	28,18	75,959	2,74
	0,60	678,100	89,20	28,7	88,469	6,78
	0,70	711,600	107,30	29,26	108,497	7,12
	0,80	1115,100	122,40	30,95	130,914	11,15
	0,90	1161,000	140,40	30,64	148,661	11,61
	1,00	1376,100	159,30	28,99	159,590	13,76

Tabela A18 – Variação da velocidade com inclinação de 25°.

ENSAIO 3						
Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da correia (m/s)	Perda de amostra (g)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência no eixo do motor (W)	Porcentagem de perda (%)
25	0,50	228,100	74,90	28,72	74,338	2,28
	0,60	772,300	89,40	28,79	88,945	7,72
	0,70	864,600	109,30	29,37	110,935	8,65
	0,80	1013,200	125,50	29,27	126,943	10,13
	0,90	1200,300	142,70	27,75	136,845	12,00
	1,00	1357,200	159,80	28,99	160,091	13,57

APÊNDICE B: Dados coletados no processo de determinação da massa constante.

Quadro B1: Resultados das pesagens das amostras após descanso na estufa.

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	PESAGEM 1 (g)	PESAGEM 2 (g)	PESAGEM 3 (g)	PESAGEM 4 (g)	PESAGEM 5 (g)	PESAGEM 6 (g)
A	2914,00	2891,50	2887,00	2886,50	2886,10	2885,90
B	3038,00	3017,60	3015,10	3011,90	3011,50	3011,10
C	3436,30	3430,50	3427,80	3426,30	3422,50	3421,80
D	3296,00	3265,70	3257,30	3255,40	3253,20	3253,00
E	3291,90	3277,50	3274,00	3268,70	3266,00	3265,70
F	3325,20	3309,80	3295,90	3293,10	3292,50	3292,10
G	3254,10	3241,00	3238,50	3233,20	3231,80	3231,00
H	3309,60	3295,70	3278,60	3273,10	3272,00	3271,50
I	3799,20	3785,00	3779,40	3778,10	3779,60	3378,80
J	3742,70	3729,80	3715,40	3712,50	3711,90	3711,10

Pesagem 1: dia 08/05/2018 as 13:00 horas

Pesagem 2: dia 08/05/2018 as 23:00 horas

Pesagem 3: dia 09/05/2018 as 09:00 horas

Pesagem 4: dia 09/05/2018 as 19:00 horas

Pesagem 5: dia 10/05/2018 as 07:00 horas

Pesagem 6: dia 10/05/2018 as 17:00 horas

APÊNDICE C: Artigo baseado na dissertação de mestrado.

DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CONSUMIDA EM UNIDADE PILOTO DE CORREIA TRANSPORTADORA, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO.

MOINO, Carolina C.

carolina.moino@yahoo.com.br

MORAES, Marlene Silva de.

marlene@unisanta.br

ROSA, Vitor da Silva.

victor@unisanta.br

MORAES JÚNIOR, Deovaldo.

deovaldo@unisanta.br

RESUMO

Os transportadores instalados em indústrias podem ser classificados em fechados, como os pneumáticos e os hidráulicos, enquanto os abertos podem ser de caneca, esteiras e correias. As correias transportadoras apresentam rápida construção, simples instalação, continuidade na movimentação, transporte de diferentes materiais e quantidades. Entretanto, quando mal dimensionadas, podem apresentar perdas excessivas de material e elevado consumo de energia elétrica. O presente trabalho teve por objetivo geral desenvolver uma bancada experimental de correia transportadora para o estudo do transporte de sólidos particulados. Como objetivos específicos investigou-se a influência da velocidade e do ângulo de inclinação, em relação à perda de britas durante o transporte e à potência consumida no eixo do motor elétrico de acionamento do equipamento. Foi utilizada uma amostra de brita zero peneirada na malha de 6,3 milímetros para realização dos ensaios e obtenção de dados. Foram realizados ensaios em triplicata para determinação do ângulo de repouso natural, limite de espalhamento e ângulo de escorregamento da amostra. Foram testados os limites do equipamento, sendo a inclinação mínima de 0° e a máxima de 25°, determinados pelos resultados do ensaio de escorregamento do material a ser transportado. Foram realizados ensaios nos graus de 0, 5, 10, 15, 20 e 25, bem como velocidades unitárias de 0,5 a 1,0 m/s. Em relação à perda de material, foi possível notar que quanto maior a inclinação da mesa, maior a dificuldade para todas as britas saírem do alimentador e serem transportadas na correia, formando uma zona morta na alimentação. Os dados obtidos foram plotados em ábacos, com o intuito de facilitar a leitura da potência em função da velocidade da correia, do ângulo de inclinação da mesa e da porcentagem média de perda de material durante o transporte.

Palavras-chave: Transportadores Contínuos; Correia Transportadora; Velocidade, Potência e Ângulo de Inclinação de Correias; Brita Zero.

ABSTRACT

The transporters installed in industries can be classified into closed, as the tyres and the hydraulics, while the open can be of mug, mats and straps. The conveyor belts feature quick construction, simple installation, continuity in handling, transportation of different materials and quantities. However, when badly scaled, may exhibit excessive losses of material and high energy consumption. The present work had as general objective to develop an experimental countertop conveyor belt for the study of the transport of particulate solids. Specific objectives to investigate the influence of speed and tilt angle, relative to the crush loss during transportation and the power consumed on the shaft of the electric motor of the drive equipment. Was used a sample of brita zero in 6.3 mm mesh sieve for carrying out of the trials and obtaining data. Tests were carried out in triplicate to determine the angle of natural home, spreading and limit slip angle of the sample. Have been tested the limits of the equipment, being the minimum inclination of 0° and maximum of 25, determined by test results of slipping of the material to be transported. Tests were carried out in 0, 5, 10, 15, 20 and 25, as well as single speeds of 0.5 to 1.0 m/s in relation to material loss, it was possible to notice that the larger the table, the greater the difficulty for all breaks out of the feeder and be transportadas on belt, forming a dead zone. The data obtained were plotted on Abaci, in order to facilitate the reading of power depending on the belt speed, the angle of inclination of the table and the average percentage of material loss during transport.

Keywords: Continuous Conveyors; Conveyor Belt; Speed, Power and Angle of Inclination of Conveyor Belts.

INTRODUÇÃO

Conforme Tavares e Farias (2016), a correia transportadora é o equipamento mais utilizado em plantas industriais especialmente nas usinas produtoras de concreto. Consiste resumidamente em um conjunto de roletes e polias que transferem o movimento para uma correia de borracha esticada e tensionada.

Segundo Moraes (2012) as correias transportadoras são comumente empregadas como meio de transporte industrial por conterem vantagens como rápida construção e manutenção simplificada. Podem atingir comprimentos quilométricos e serem conectadas entre si através da variação da inclinação e altura da estrutura.

Ao serem projetadas equivocadamente, as correias transportadoras podem apresentar desvantagens como perda de material, elevado consumo de energia elétrica e acidentes.

São poucos os trabalhos disponíveis na literatura (Quadro 1) concernentes a correias transportadoras.

Quadro 1: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura.

TÍTULO	ANO	AUTORES	DISCUSSÃO
Examination of the process of damaging the top covering layer of a conveyor belt applying the FEM.	2017	Marasová, Daniel; Ambriško, Ľubomír; Andrejiová, Miria; Grinčová, Anna.	Apresentaram uma análise do impacto do produto sobre a correia, sendo a modelagem utilizada para avaliar a tensão e obter parâmetros de dimensionamento das cargas.
Increasing of horizontal velocity of particles leaving a belt conveyor.	2017	Tavares Abraão; Faria Allbens.	Investigaram o transporte de materiais granulados por uma correia transportadora através de simulações numéricas. Relataram um aumento incomum de velocidade horizontal de partículas quando deixam a correia em queda livre. Usando o método de elementos discretos realizou-se um estudo sobre a influência das propriedades das partículas.
Extension of inner structures of textile rubber conveyor belt – Failure analysis.	2015	Fedorko, Gabriel; Molnár, Vieroslav; Michalik, Peter; Dovica, Miroslav; Tóth, Teodor; Kelemenová, Tatiana	Forneceram resultados de estudos experimentais e análise de falha para determinação da influência da tensão na correia em função de materiais compósitos na falha de equipamentos.

Continua.

Quadro 1: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura. (Continuação)

Adaptive Parameter Estimation for an Energy Model of Belt Conveyor with DC Motor.	2014	Shen, Yanjun; Xia, Xiaohua	Constataram que parâmetros de projeto de uma correia transportadora podem se distanciar dos originais por manutenção, reajuste, retromontagem, abrasão, em mudança de circunstância. Analisaram a potência medindo apenas a taxa de alimentação da correia transportadora e a velocidade angular do rotor do motor.
Projeto de correia transportadora: Estudo computacional de comparação dos métodos Cema e Prático.	2014	Ricardo Amâncio Malagoni; Dyrney Araújo Dos Santos Holos.	Criaram um programa computacional para o projeto de correias transportadoras através dos métodos Prático e CEMA. Foram realizadas simulações para os materiais: rocha fosfática e minério de ferro para diferentes configurações. Como dados de saída do programa, tem-se as seguintes especificações de projeto: largura da correia, distância do material à borda da correia, capacidade mássica, velocidade da correia e potência do motor. Tanto o Método Prático quanto o Método CEMA se mostraram de suma importância para o projeto de correias transportadoras, sendo o primeiro de grande valia na estimativa inicial de um projeto, enquanto o outro é o mais recomendado para o projeto final de correias transportadoras.
Chaos on the conveyor belt - Physical review Statistical, nonlinear, and soft matter physics.	2013	Sándor, Bulcsú; Járai-Szabó, Ferenc; Tél, Tamás; Néda, Zoltán.	Estudaram da dinâmica de corpos colocados em sequência em uma correia em experimentos e em simulações de computador. Tal experimento visou entender a dinâmica do movimento e a relação do atrito com o movimento relativo das peças na correia. Simulações sugerem que a complexidade máxima desta dinâmica é alcançada por um número relativamente pequeno de corpos.
Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods.	2010	Hastie, D.B.; Wypych, P.W.	Apresentaram a comparação entre a velocidade da saída do alimentador de material àquela da correia transportadora que recebe o material. Se a velocidade de partícula aumenta demais questões como atrito de partículas, geração de poeira, chute e desgaste da correia e ruído excessivo pode surgir se a velocidade de partícula diminui, as zonas de estagnação podem se desenvolver, resultando em questões como derrame ou bloqueio. Métodos foram então comparados para determinar se Continuum ou métodos discretos permitem uma previsão precisa do fluxo do chute.

Continua.

Quadro 1: Discussão dos artigos mais relevantes encontrados na literatura. (Continuação)

On the Weakly Nonlinear, Transversal Vibrations of a Conveyor Belt with a Low and Time - Varying Velocity.	2003	Suweken, G.; Van Horssen, W.	Comprovaram que as variações de velocidade da correia podem produzir vibrações, sendo esta análise importante para estabilidade e integridade física da estrutura e dos componentes da correia e do material a ser transportado.
Critical phenomenon of granular flow on a conveyor belt. - Physical review - Statistical, nonlinear, and soft matter physics.	2003	De-Song, Bao; Xun-Sheng, Zhang; Guang- Lei, Xu ; Zheng-Quan, Pan; Xiao-Wei, Tang; Kun-Quan, Lu.	Abordaram a relação entre o movimento de grãos em uma correia transportadora bidimensional e o tamanho da saída junto com a velocidade da esteira transportadora. O resultado mostra os efeitos na seção de grãos devido à mudança da velocidade ou da largura da saída de produtos.

Não foram encontradas na literatura pesquisas que estudem a influência do ângulo de inclinação, da velocidade crítica de transporte de britas e a potência no eixo do motor elétrico de acionamento da correia. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo geral desenvolver uma bancada experimental de correia transportadora para o estudo do transporte de sólidos particulados. Como objetivos específicos foi testado o equipamento transportando brita zero, obtendo uma relação da potência consumida no eixo do motor elétrico em relação à inclinação e à velocidade da correia e investigada a influência da velocidade e do ângulo de inclinação da correia, em relação à perda de britas durante o transporte.

MATERIAL E MÉTODOS

MATERIAL

A unidade experimental pode ser visualizada nas Figuras 1 a 4.

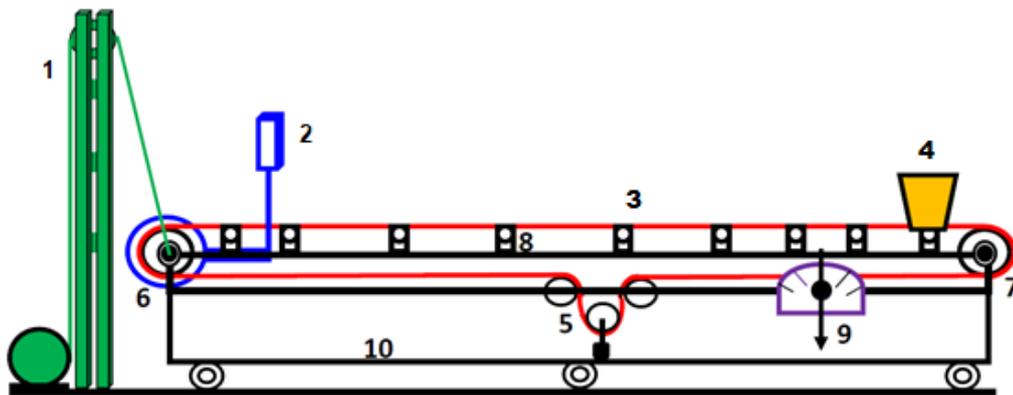


Figura 1: Fluxograma da unidade piloto. Legenda: 1.Dispositivo de elevação angular da esteira com inversor e contra recuo; 2.Conjunto motor em balanço com braço para dinamômetro; 3.Correia de borracha; 4.Alimentador de brita; 5.Dispositivo de contra-peso para tracionar a correia; 6. Rolo ou tambor de acionamento (motor) da correia; 7.Rolo ou tambor de retorno da correia; 8.Roletes de apoio da correia com rolamentos; 9.Transferidor para ajuste angular da correia transportadora; 10.Estrutura metálica treliçada para suportar a correia transportadora.

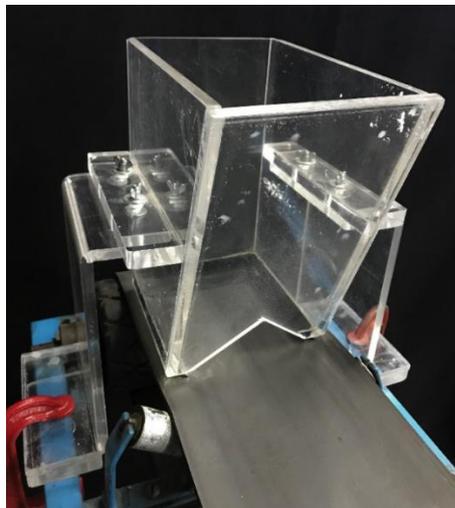


Figura 2: Alimentador em acrílico, definitivo da unidade piloto.

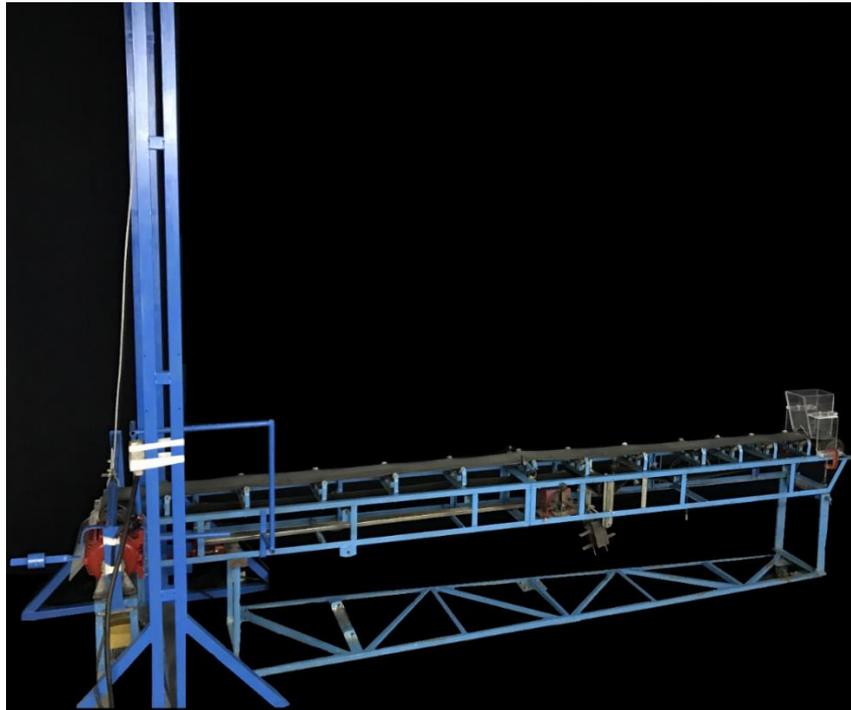


Figura 3: Vista geral da unidade piloto de correia transportadora, desenvolvida no presente trabalho em estudo e utilizada nos ensaios.

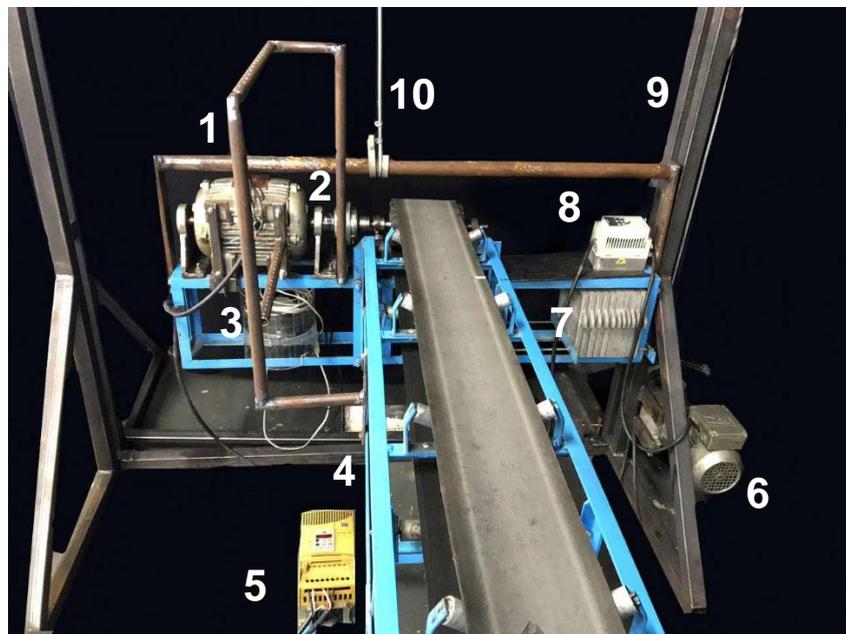


Figura 4: Conjunto de acionamento e elevação do equipamento. Legenda: 1.Motor elétrico trifásico de marca Weg e 4 hp de potência para acionamento da correia; 2.Eixo do motor; 3.Braço acoplado ao motor para colocação de um dinamômetro para determinação da potência; 4.Estrutura metálica do equipamento inicial; 5.Inversor de frequência da marca Weg, com 4 hp de potência para acionamento do motor de 4 hp; 6.Conjunto moto-reductor da marca Sew do Brasil e potência 0,25 kW para acionamento do sistema de elevação; 7.Contrapeso da estrutura; 8.Inversor de frequência da marca Toshiba, potência de 0,5 hp e 200 Hz de frequência do conjunto moto-reductor; 9.Estrutura auxiliar construída para elevar o equipamento inicial; 10. Cabo de aço preso em polias para sustentação da mesa de elevação.

MÉTODOS

Afim de se determinar a potência consumida no motor elétrico em balanço da unidade piloto da correia transportadora em estudo, foram determinados parâmetros de ensaio conforme descritos no Quadro 2.

Foram testados os limites máximo e mínimo do equipamento, sendo a inclinação mínima de 0° e a máxima de 25° , dados pelos resultados do ensaio de escorregamento do material à ser transportado. As velocidades variaram entre 0,5 m/s e 1,0 m/s, uma vez que 0,5 m/s é o valor inicial dado pelo conjunto de acionamento da unidade piloto e 1,0 m/s foi fixado por motivos de segurança.

Foram realizados ensaios nos graus de 0, 5, 10, 15, 20 e 25, bem como velocidades de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1,0 m/s.

Quadro 2: Descrição dos procedimentos realizados nos ensaios.

Procedimento	Descrição
1	Pesados oito béqueres com 5.000 gramas de brita
2	Colocada a estrutura da unidade piloto de correia no ângulo desejado para realização do ensaio
3	Ligado o conjunto de acionamento do equipamento através do inversor de frequência
4	Medida a velocidade (m/min) da correia com um tacômetro, ajustando-a sempre no valor exato do ensaio em questão
5	Medida a rotação (rpm) no eixo aparente do motor elétrico com um tacômetro
6	Calculada a velocidade angular e comparada com a velocidade no tacômetro, afim de se avaliar a tensão na correia para que os ensaios não fossem realizados com a borracha patinando
7	Medida a força no motor elétrico em balanço através de um dinamômetro
8	Anotados os resultados encontrados com a correia sem o carregamento das britas
9	Separados dois béqueres, totalizando uma amostra inicial de 10.000 gramas de brita
10	Iniciado o carregamento manual da correia com as britas, mantendo-as na caixa alimentadora
11	Retirada a comporta do alimentador e aguardado o preenchimento total da correia para início das medições

Continua.

Quadro 2: Descrição dos procedimentos realizados nos ensaios. (Continuação)

Procedimento	Descrição
12	Medida a rotação (rpm) no eixo aparente do motor elétrico com um tacômetro, dessa vez com a correia cheia de britas
13	Medida a força no motor elétrico em balanço através de um dinamômetro
14	Aguardada a finalização do transporte das britas através da correia
15	Desligado o equipamento quando as britas não conseguiram mais vencer a inclinação da correia e formaram grandes intervalos entre si
16	Pesada a quantidade de amostra final
17	Anotados os resultados
18	Repetidos os ensaios três vezes para cada ângulo e velocidade

A partir dos dados obtidos nestes ensaios, foram calculadas as potências consumidas pelo motor elétrico em todas as variações de angulação e velocidade, bem como a perda de material durante o transporte.

Na equação (4) temos a definição de potência:

$$Pot = \frac{W}{t} \Rightarrow Pot = \frac{F \cdot \Delta S}{\Delta t} \Rightarrow Pot = F \cdot v \quad (1)$$

Sendo:

Pot a potência consumida pelo motor elétrico em balanço (hp);

W o trabalho (N.m);

t o tempo de transporte (s);

ΔS a variação do espaço percorrido (m);

Δt a variação do tempo (s);

F a força exercida pelo motor (N);

v a velocidade (m/s).

O motor utilizado na unidade piloto foi colocado em balanço e com um braço acoplado ao eixo, como apresentado na Figura 10, podendo assim ser calculada a velocidade angular para definição da potência consumida conforme a equação (5):

$$v = \omega \cdot R = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot b \quad (2)$$

Na qual:

ω é a velocidade angular;

R é o raio (m);

n é o número de rotações por minuto no eixo do motor (rpm);

b é o braço acoplado ao eixo do motor (m).

A potência consumida (Pot) foi diretamente quantificada pelo produto da força (F) multiplicada pela velocidade angular:

$$\text{Pot} = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot b \quad (3)$$

Sendo:

F a força lida no dinamômetro (N);

n o número de rotações no eixo do motor lido no tacômetro (rpm);

b o tamanho do braço acoplado ao eixo do motor (m).

Ainda, foram determinadas as perdas em cada processo, através da diferença de massa da entrada e da saída dada pela equação (7), pesadas sempre após a finalização de cada ensaio.

$$Q_P = Q_e - Q_s \quad (4)$$

Em que:

Q_P é a quantidade de massa perdida durante o transporte (g) ;

Q_e é a quantidade de amostra de entrada (g);

Q_s é a quantidade de amostra de saída (g).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentação dos dados coletados nos ensaios

Ao serem finalizadas as alterações e o desenvolvimento do equipamento, foram iniciados os ensaios para coleta de dados.

A correia foi posicionada nos ângulos de 0°, 5°, 10°, 15°, 20° e 25°, sendo coletadas as velocidades de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1,0 m/s através do tacômetro, bem como a rotação por minuto no eixo do motor elétrico. As vazões de brita retida em peneira com malha de 6.3 mm variaram com as velocidades em função da característica do alimentador. A potência (W) foi calculada de acordo com a equação 6.

Foram realizadas triplicatas para melhor precisão e qualidade dos resultados, sendo a média dos resultados demonstrada na tabela 1.

Tabela 1: Resultado dos valores médios coletados nos ensaios.

Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da esteira (m/s)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência calculada no eixo do motor (W) *	Vazão (ton/h)
0,00	0,50	80,60	32,85	91,40	3,13
0,00	0,60	95,93	32,73	108,48	3,37
0,00	0,70	112,27	32,91	127,66	3,37
0,00	0,80	129,23	32,53	145,30	2,95
0,00	0,90	144,73	32,45	162,29	3,59
0,00	1,00	159,60	33,02	182,14	3,38
5,00	0,50	80,03	31,07	85,92	2,55
5,00	0,60	95,97	31,48	104,41	2,62
5,00	0,70	112,77	30,90	120,40	2,79
5,00	0,80	129,03	31,99	142,58	2,89
5,00	0,90	144,33	30,01	149,70	2,92
5,00	1,00	159,67	37,95	209,49	3,01
10,00	0,50	80,10	26,17	72,43	2,17
10,00	0,60	95,83	25,47	84,36	2,36
10,00	0,70	113,00	27,70	108,15	2,49
10,00	0,80	127,03	28,31	124,28	2,56
10,00	0,90	144,27	31,46	156,83	2,70
10,00	1,00	160,93	31,19	173,47	2,61
15,00	0,50	78,73	26,40	71,88	1,92
15,00	0,60	92,83	21,51	69,10	2,06
15,00	0,70	109,87	24,65	93,60	2,20
15,00	0,80	123,80	25,14	107,58	2,27

Continua.

Tabela 1: Resultado dos valores médios coletados nos ensaios. (Continuação)

Ângulo de inclinação (graus)	Velocidade da esteira (m/s)	Rotação no eixo do motor elétrico (rpm)	Força lida no dinamômetro (N)	Potência calculada no eixo do motor (W) *	Vazão (ton/h)
15,00	0,90	142,33	25,60	125,90	2,40
15,00	1,00	158,67	25,28	138,59	2,36
20,00	0,50	119,07	26,04	105,31	1,61
20,00	0,60	97,10	29,20	97,96	1,73
20,00	0,70	110,10	29,57	112,51	1,92
20,00	0,80	128,33	31,55	139,87	1,96
20,00	0,90	141,20	31,60	154,19	2,04
20,00	1,00	159,23	30,82	169,58	2,08
25,00	0,50	77,87	27,05	72,64	1,37
25,00	0,60	89,30	28,75	88,72	1,47
25,00	0,70	108,93	29,38	110,59	1,56
25,00	0,80	123,03	29,84	126,86	1,71
25,00	0,90	141,77	29,21	143,05	1,78
25,00	1,00	158,57	28,72	157,38	1,66

$$* N = F \cdot b \cdot 2\pi \cdot n \rightarrow 32,85\text{N} \cdot 0,33\text{m} \cdot 2\pi \cdot (80,60 \text{ rpm}) \cdot \left(\frac{1\text{min}}{60\text{s}}\right) \rightarrow N = 91,40\text{W}$$

Sendo b o braço acoplado ao motor em balanço de 0,33m.

Em relação à perda de materiais, foi possível notar nos ensaios que quanto maior a inclinação da mesa, maior a dificuldade para todas as britas saírem do alimentador e serem transportadas na correia. Sendo assim, as perdas aumentaram a partir do ângulo de 15°, como observado no gráfico plotado na Figura 5 e demonstrados na Tabela 2, devido à formação da zona morta no alimentador.

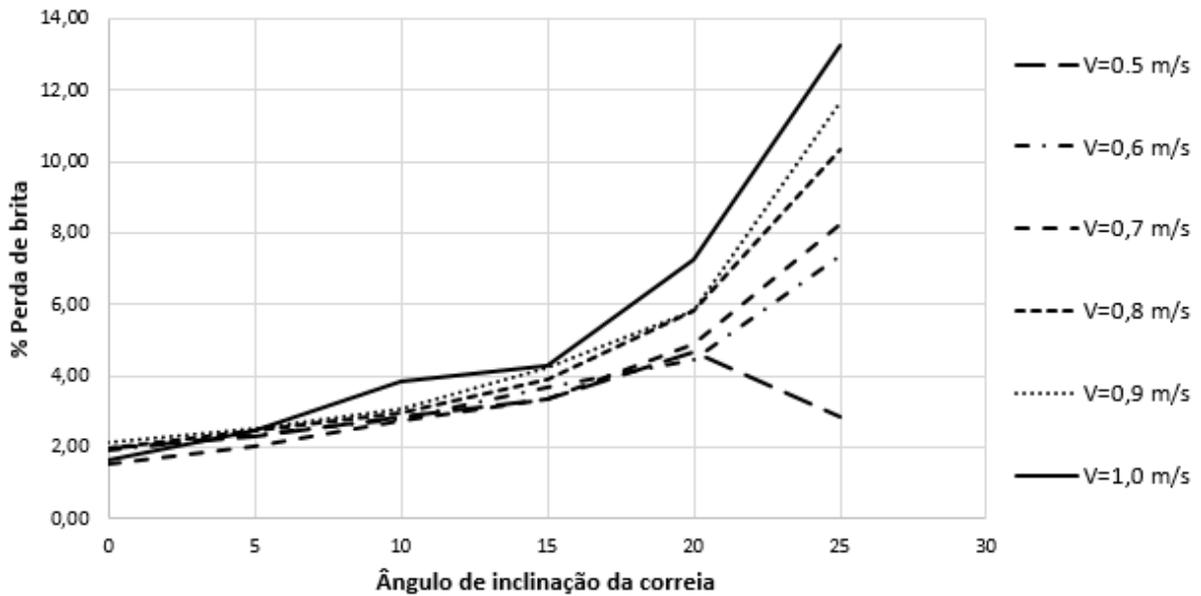


Figura 5: Porcentagem de perda de material em relação ao ângulo de inclinação e a velocidade da correia transportadora.

Sabendo que em todos os ensaios foram utilizados 10.000 gramas de brita, a Tabela 2 foi construída com a finalidade de analisar a potência (hp) em relação à quantidade de massa (ton/h) pelo tamanho da correia (3,60 m).

Tabela 2: Resultado da análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia.

Velocidade da correia (m/s)	Ângulo de inclinação (graus)	Pot / Q.L (hp/(ton/h)xL)	Porcentagem de perda de material (%)
0,5	0	0,14	1,96
0,5	5	0,16	2,32
0,5	10	0,16	2,85
0,5	15	0,18	3,36
0,5	20	0,24	4,66
0,5	25	0,26	2,84
0,6	0	0,16	1,91
0,6	5	0,19	2,37
0,6	10	0,17	2,81
0,6	15	0,19	3,67
0,6	20	0,27	4,47
0,6	25	0,29	7,37
0,7	0	0,18	1,56
0,7	5	0,21	2,04
0,7	10	0,21	2,74
0,7	15	0,21	3,33

Continua.

Tabela 2: Resultado da análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia. (Continuação)

Velocidade da correia (m/s)	Ângulo de inclinação (graus)	Pot / Q.L (hp/(ton/h)xL)	Porcentagem de Perda de Material (%)
0,7	20	0,28	4,87
0,7	25	0,34	8,27
0,8	0	0,24	1,97
0,8	5	0,24	2,48
0,8	10	0,23	2,99
0,8	15	0,23	3,93
0,8	20	0,34	5,82
0,8	25	0,36	10,33
0,9	0	0,22	2,15
0,9	5	0,25	2,53
0,9	10	0,28	3,10
0,9	15	0,25	4,24
0,9	20	0,37	5,82
0,9	25	0,39	11,69
1,0	0	0,26	1,65
1,0	5	0,28	2,45
1,0	10	0,32	3,87
1,0	15	0,28	4,31
1,0	20	0,39	7,24
1,0	25	0,46	13,28

Ainda, foram plotados os dados no ábaco apresentado na Figura 6, com o intuito de facilitar a leitura da potência em função da velocidade da correia, do ângulo de inclinação da mesa e da porcentagem média de perda de material durante o transporte.

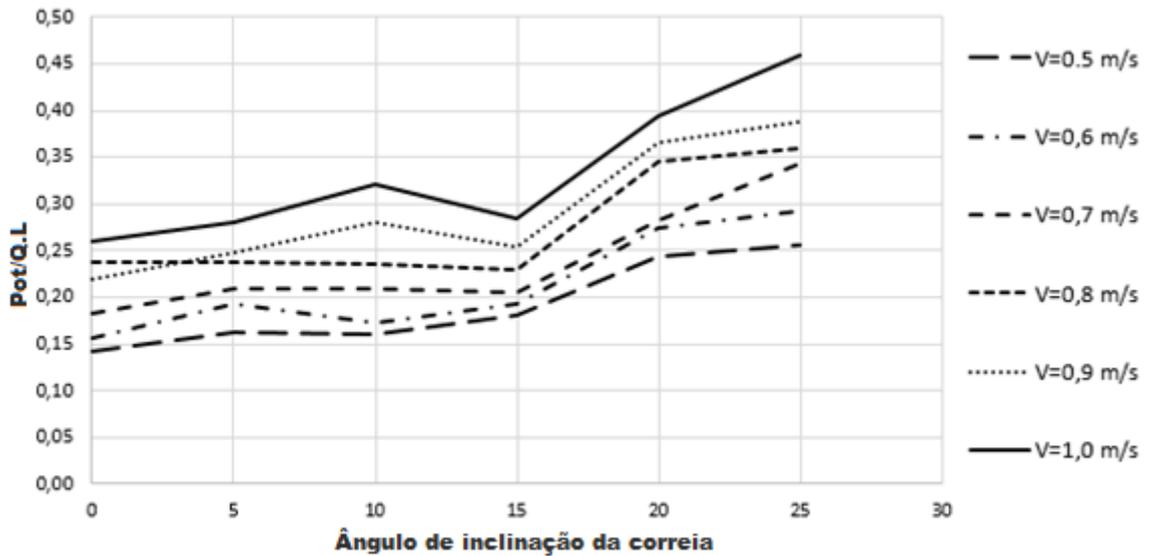


Figura 6: Análise da potência em relação à quantidade de massa e o comprimento da correia, em função da velocidade e o ângulo de inclinação.

Os valores apresentados no ábaco estão associados ao transporte de brita zero retidas na malha 6.3 mm de acordo com a Norma Brasileira NBR 7211/2009, em uma correia transportadora de comprimento igual à 3,60 m.

Exemplo numérico de aplicação dos dados

Considerando que uma indústria pretende transportar 2 toneladas de britas zero peneiradas na malha de 6,3 mm em uma correia transportadora de 2 metros, com inclinação de 10° e velocidade 0,8 m/s, é possível saber a potência que será consumida e a perda aproximada de materiais, através dos ábacos apresentados nas Figuras 5 e 6.

De acordo com o ábaco da figura 6, com uma inclinação de 10° e velocidade de 0,8 m/s, a relação da potência pela massa transportada e o comprimento da correia foi:

$$\frac{\text{Pot}}{(\text{Q.L})} = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \quad (8)$$

Calculando o exemplo citado, a potência consumida foi de:

$$\frac{\text{Pot}}{(\text{Q.L})} = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \rightarrow \text{Pot} = 0,24 \frac{\text{hp}}{\left[\left(\frac{\text{ton}}{\text{h}}\right) \cdot \text{m}\right]} \cdot 2 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \cdot 2\text{m} = 0,96 \text{ hp} \quad (9)$$

Ainda, de acordo com o ábaco da Figura 5, a perda de material será de aproximadamente 3% da massa transportada.

CONCLUSÃO

- V. O equipamento desenvolvido demonstrou eficiência para obtenção de dados nas condições solicitadas pelo presente estudo; sendo possível analisar a variação da potência consumida pelo motor elétrico ao serem variadas as velocidades e angulações da correia;
- VI. Através dos dados obtidos foi possível notar o aumento da perda de material quando utilizada a correia transportadora em elevações acima de 15°;
- VII. Acredita-se que o aumento da perda de brita nos ângulos de 15, 20 e 25 graus tenha ocorrido devido ao maior acúmulo de material na zona morta no ponto de alimentação da correia;
- VIII. O ábaco desenvolvido apresenta facilidade na obtenção de informações, porém encontra-se limitado em relação ao tipo de material transportando.

REFERÊNCIAS

1. TAVARES, A. M.; FARIAS, A. A. *Estudo do aumento espontâneo na velocidade de partículas em transportadores de correia*. Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics, Vol. 4, n.1. Trabalho apresentado no DINCON. Natal, RN, Brasil. 2016.
2. MORAES, M. S. de. *Convecção forçada de partículas poliméricas em fase diluída: Curvas de pressão e distribuição de partículas*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP, Brasil. 2012.
3. MALAGONI, R. A.; HOLOS, D. A. S. *Projeto de correias transportadoras: um estudo computacional de comparação dos métodos Cema e Prático*. Vol.3, pp.358-369. 2014.
4. HASTIE, D. B.; WYPYCH, P. W. *Experimental validation of particle flow through conveyor transfer hoods via continuum and discrete element methods*. Mechanics of Materials, Vol.42(4), pp.383-394. 2010.
5. YANJUN, S.; XIAOHUA, X. *Adaptive parameter estimation for an energy model of belt conveyor with DC Motor*. Asian Journal of Control, Vol.16(4), pp.1122-1132. 2014.

6. SUWEKEN, G.; VAN HORSSSEN, W. *On the weakly nonlinear, transversal vibrations of a conveyor belt with a low time – varying velocity.* - *Nonlinear Dynamics*, Vol.31(2), pp.197-223. 2003.
7. MARASOVA, D.; AMBRISKO, L.; ANDREJIOVA, M.; GRINCOVA, A. *Examination of the process of damaging the top covering layer of a conveyor belt lying the FEM.* *Measurement*, Vol.112, pp.47-52. 2017.
8. FERDOKO, G.; MOLNAR, V.; MICHALIK, P.; DOVICA, M.; TOTH, T.; KELEMENOVA, T. *Extension of inner structures of textile rubber conveyor belt – failure analysis.* 2015.
9. SANDOR, B.; JARAI-SZABO, F.; TEL, T.; NEDA, Z. *Chaos on the conveyor belt – physical review statistical, nonlinear and soft matter physics.* *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, Vol.87(4), pp.042920. 2013.
10. TAVARES, A.; FARIA, A. *Increasing of horizontal velocity of particles leaving a belt conveyor.* *EPJ Web of Conferences*, Vol.140, p.03066. 2017.
11. DE-SONG, B.; XUN-SHENG, Z.; GUANG-LEI, X.; ZHENG-QUAN, P.; XIAO-WEI, T.; KUN-QUAN, L. *Critical phenomenon of granular flow on a conveyor belt – physical review – statistical nonlinear and soft matter physics.* *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, Vol.67(6 Pt 1), pp.062301. 2003.