



Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

MELHORAMENTO DA CAPACIDADE DA LINHA DE RECEBIMENTO DE CEREAIS VIA FERROVIÁRIA OU RODOVIÁRIA NA STEMA

Discente:

Ulhembe, Benedito Américo

Supervisor

Mestre Mocomoque Júlios

Maputo, Setembro 2023



Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Licenciatura em Engenharia e Gestão Industrial

RELATÓRIO DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

MELHORAMENTO DA CAPACIDADE DA LINHA DE RECEBIMENTO DE CEREAIS VIA FERROVIÁRIA OU RODOVIÁRIA NA STEMA

Discente:

Ulhembe, Benedito Américo

Supervisor

Mestre Mocomoque Júlios

Maputo, Setembro de 2023



Melhoramento da Capacidade da linha de Recebimento de Cereais via Ferroviária ou Rodoviária na STEMA

Benedito Américo Ulhembe

ÍNDICE

AGRADECIMENTO	III
DEDICATÓRIA	IV
DECLARAÇÃO DE HONRA	V
ÍNDICE DE TABELAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VIII
RESUMO	X
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Introdução	1
1.2. Problemática	2
1.3. Problema	2
1.4. Objectivos	3
1.4.1. Objectivo geral	3
1.4.1. Objectivo específico	3
CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Transportadores para cereais.....	4
2.1.1. Classificação das máquinas de elevação e transporte.....	4
2.1.2. Máquinas de funcionamento continua ou máquinas transportadoras.....	4
2.2. Transportador de corrente por arrasto	5
2.2.1. Constituição do transportador de corrente por arrasto.....	6
2.2.2. Parâmetro de funcionamento de um transportador de corrente por arrasto.....	7
2.3. Elevadores de canecas	8

2.3.1.	Classificação dos elevadores de canecas	9
2.3.2.	Constituição de um elevador de canecas	11
2.3.3.	Parâmetro de funcionamento de um elevador de canecas	12
2.4.	Transportador de tapete (correia).....	16
2.4.1.	Constituição de um transportador de tapete	17
2.4.2.	Parâmetros de um transportador de tapete.....	19
CAPÍTULO 3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO		22
CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA		23
4.1.	Metodologia de investigação	23
4.2.	Identificação das causas operacionais que afetam o desempenho do equipamento	23
4.3.	Melhoramento da produtividade dos transportadores de corrente por arrasto CC2 e CC3	26
4.3.1.	Velocidade da corrente.....	26
4.3.2.	Quantidade volumétrica.....	27
4.3.3.	Quantidade mássica	27
4.3.4.	Massa de material dentro da calha.....	28
4.3.5.	Potência de accionamento	28
4.3.6.	redimensionamentos dos veios dos pinhões	29
4.3.7.	Dados calculados dos transportadores de corrente por arrasto CC2 e CC3	30
4.4.	Melhoramento da produtividade do elevador de canecas E2.....	31
4.4.1.	Volume da caneca	31
4.4.2.	Grau de enchimento.....	32
4.4.3.	Velocidade do tapete.....	32
4.4.4.	Nova capacidade do elevador de canecas E2	34
4.4.5.	Redimensionamento do motor eléctrico para o elevador de canecas E2.....	34

4.4.6.	Determinação das forças que actuam no elevador de canecas E2	35
4.4.6.3.	Pré tensão	37
4.4.6.4.	Tensão do lado e elevação das canecas	38
4.4.6.5.	Tensão no lado de retorno das canecas	39
4.4.7.	Verificação da condição de escorregamento do tapete no tambor de accionamento	39
4.4.8.	Redimensionamento do veio do elevador de canecas E2	40
4.5.	Verificação da capacidade dos transportador de tapete BC5 e BC6	41
4.5.1.	Velocidade do tapete do BC5 e BC6	42
4.5.2.	Área da secção transversal.....	42
4.5.3.	Verificação da capacidade dos transportadores de tapete BC5 e BC6	44
4.5.4.	Análise do resultado do transportador de tapete BC5 e BC6	44
4.6.	Transportadores por gravidade.....	44
Capítulo 5:	Apresentação, análise e discussão dos resultados.....	46
5.1.	Apresentação e análise dos resultados	46
5.2.	Discussão dos resultados	47
Capítulo 6:	conclusões e recomendações	50
6.1.	Conclusão.....	50
6.2.	Recomendações	51
6.3.	Limitação de pesquisa.....	51
Bibliografia	52
Anexos	53

AGRADECIMENTO

A Deus pelo Dom da vida e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo do curso.

A minha esposa, a minha mãe, irmãos e amigos que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência quando me dedicava a realização deste trabalho.

Ao meu supervisor, professores pela correção e ensinamento que me permitiu apresentar o melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

DEDICATÓRIA

Sem a direcção dada por Deus, a conclusão deste trabalho não seria possível, por causa disso, dedico a este relatório do Estágio Profissional a ele, com muita gratidão no coração; dedico também a minha mãe Sara Lacitela Vilanculos, minha esposa Stela Gemo pela presença em todos momentos da minha vida.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Benedito Américo Ulhembe declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente da minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Maputo, 28 de novembro de 2023

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Planilha resumida de lançamento de caminhões (Fonte: STEMA)	24
Tabela 2: Dados dos novos transportadores de corrente CC2 e CC3	30
Tabela 3: Canecas DIN 15232	32
Tabela 4: Relação de dimensões e peso de tambores para elevadores de canecas (Fonte Dunlop 1994).....	37
Tabela 5: Coeficiente de atrito do tambor de accionamento com o tapete	37
Tabela 6: Factor Ka.....	38
Tabela 7: Relação entre T1/T2.....	39
Tabela 8: Dados dos transportadores de tapete BC5 e BC6	42
Tabela 9: Capacidade dos transportadores por gravidade em função dos diâmetros (Fonte MILMAR 2002).....	45
Tabela 10: Ângulo mínimo de inclinação de transportadores por gravidade em função do tipo de produto.....	45
Tabela 11: Dados comparativos dos equipamentos envolvidos no recebimento rodo-ferroviário	47
Tabela 12: Estimativa de custo para o melhoramento da linha de recebimento de caminhões e vagões (fonte autor)	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Transportador de corrente por arraste de corrente simples	6
Figura 2: Principais tipos de correntes usados para transportadores	7
Figura 3: Elevador de canecas	9
Figura 4: Formas de carregamento de elevadores de canecas (Fonte: Dunlop 1994)	10
Figura 5: Formas de descarga de um elevador de canecas (Fonte Dunlop 1994)	10
Figura 6: Força que actuam num elevador de canecas (fonte Dunlop 1994)	14
Figura 7: Representação esquemática de um elevador de canecas (Fonte Dunlop 1994)	15
Figura 8: Transportador de tapete BC3 da STEMA	17
Figura 9: Tambor de accionamento de um transportador de tapete	18
Figura 10: Cavaletes e rolete de carga e do lado direito rolete de retorno	18
Figura 11: Tripper do transportador de tapete da STEMA	19
Figura 12: Secção transversal do cereal para transportadores três roletes (Fonte Dunlop 1994)..	20
Figura 13: Representação da secção transversal dos transportadores de tapete BC5 e BC6 da STEMA.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

Q_v	- Carga volumétrica	[m ³ /h]
v	- Velocidade de tapete	$\left[\frac{m^2}{s}\right]$
a	- Distancia entre as canecas	[m]
φ	- Grau de enchimento das canecas	[-]
V_b	- Volume da caneca	[litros]
Q_m	- Carga mássica	[t/h]
ρ	- Densidade do cereal	[t/m ³]
F_u	- Força periférica	[N]
CN	- Factor da segunda resistência	[-]
H	- Altura da elevação	[m]
H _o	- Altura adicional	[m]
P _T	- Potência de tambor de accionamento	[KW]
η	- Rendimento do motor	[-]
n	- Número de rotações,	[-]
D	- Diâmetro do tambor de accionamento	[m]
T ₁	- Tensão do tapete no lado de elevação da carga	[N]
F _{st}	- Resistência a inclinação	[N]
T _v	- Pré tensão do tapete	[N]
T _t	- Força produzida pela massa do tambor accionado	[N]
m'B	- Massa das canecas e acessórios de fixação	[Kg/m]

$m'G$ – Peso do tapete	[Kg/m]
H – Altura da altura de elevação	[m]
L – Comprimento do cilindro	[cm ³]
bc – Largura da chaveta	[mm]
hc – Altura da chaveta	[mm]
lc – Comprimento da chaveta	[mm]
A – Área da secção transversal	[m ²]
$Mass_1$ – Massa do material dentro da calha	[kg]
μ_1 – Atrito entre o fundo da calha e o produto transportado	[-]
μ_2 – Atrito entre o fundo da calha e a corrente	[-]
$Mass_2$ – Massa da corrente	[kg]
p – Passo da corrente	[mm]
g – Aceleração de gravidade	[m/s ²]

RESUMO

A STEMA S.A. é uma terminal situada no porto da Matola que se dedica no manuseio de cereal. Foi inaugurada em 1996 e tinha como principais operações o recebimento marítimo, transilagem, expedição rodo-ferroviária e recebimento rodo-ferroviária. Em 2002 foi inaugurada a segunda fase que consistia na instalação de equipamento para a expedição marítima com a capacidade de 500t/h.

Com a inauguração da segunda fase houve maior procura pelos serviços oferecidos, facto que aumentou a concertação de camiões na terminal, causado pela lento processo de descarga de cereal.

De forma a minimizar este impacto, o presente relatório prevê o melhoramento da linha de recebimento de camiões e vagões para 500t/h que é a capacidade de expedição marítima. Foi analisado também os custos envolvidos neste processo e a sua viabilidade.

PALAVRAS CHAVE: Manuseio de cereais na terminal da Matola, Recebimento de camiões, Melhoramento da produtividade do equipamento

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

1.1. Introdução

A STEMA S.A. é uma empresa moçambicana pertencente ao grupo IGEPE e Ministério das Finanças. Foi fundada aos 09 de Abril de 1996 com finalidade de preencher o vazio existente na época na área de logística de cereais. Actualmente é dirigido por um Director Geral coadjuado por três directores nomeadamente: director de administração e finança (DAF), director comercial (DC) e director das operações (DO).

Nos primeiros anos a STEMA funcionou com 18 silos com a capacidade aproximada de 1700 toneladas cada totalizando 30600 toneladas. Nessa altura tinha como operações o recebimento marítimo, a armazenagem, a transilagem, expedição rodo-ferroviária e o recebimento rodo-ferroviário.

O processo de recebimento marítimo é um processo baseado na recepção de cereal vindo do navio para armazenar nos silos. Tem a capacidade máxima de 250t/h e compreende máquinas tais como descarregador pneumático de navio, seis transportadores de tapete, uma balança de fluxo e dois elevadores de canecas. Essas máquinas trabalham em série, cada máquina recebe e alimenta a outra até o cereal chegar ao silo onde é armazenado.

O processo de transilagem consistem em retirar o cereal dum silo de armazenagem (SB) para um silo intermédio (buffer bin) a fim de fazer o processo de expedição. Este processo envolve transportador de tapete, transportador de corrente e elevador de caneca; tem a capacidade de 125t/h.

O processo de expedição é o processo que consiste em carregar um camião ou um vagão. É constituído por buffer bin (BB), balança de fluxo e transportador de corrente. Tem a capacidade máxima de 100t/h.

Em 2002 a STEMA inaugurou a sua segunda fase que consistia na instalação de um carregador de navio com capacidade de 500t/h, dois elevadores de canecas com capacidade de 500t/h cada, um elevador de canecas com capacidade de 250t/h e na melhoria da capacidade dos transportadores de tapete BC7, BC8 e BC9 que inicialmente faziam apenas a operação de transilagem. Este

equipamento instalado constitui a linha de expedição marítima que funciona com a capacidade máxima de 500t/h. foi construído também 9 silo de armazenagem com capacidade 1700 toneladas cada, aumentando assim a capacidade armazenagem da terminal para 45900 toneladas.

1.2. Problemática

O processo de recebimento rodo-ferroviário da STEMA foi concebido para funcionar com uma capacidade máxima de 100t/h. A concepção desta linha era para o recebimento do cereal para o consumo interno. Com o crescimento da terminal houve expansão dos serviços, passando a fornecer cereais para outros países. Em 2002 devido a dinâmica do mercado, a terminal instalou máquinas para expedição marítima com uma capacidade de 500t/h. Desde a concepção desta linha foi expedido cereal vindo principalmente do mercado Sul Africano através de camiões que fazem longas filas para o acesso as instalações da STEMA em particular para o local de descarga; essas filas são causadas em parte pelo lento processo de descarga de cereal na STEMA. Porém o principal problema que a STEMA atravessa tem haver com o tempo necessário para acumular cereal até a quantidade mínima necessária para o início da expedição; como exemplo para uma expedição de 22000 toneladas de cereais são necessários aproximadamente 660 camões que pela capacidade actual de descarga são necessário aproximadamente 15 dias dum tráfico intenso na terminal.

1.3. Problema

Que medidas podem serem tomadas para aumentar a capacidade de recebimento rodo-ferroviária na STEMA?

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo geral

Aumento da capacidade da linha de recebimento de cereais na STEMA via rodoviário ou ferroviário.

1.4.1. Objectivo específico

- Identificar as causas operacionais que contribuem para o baixo rendimento do processo de recebimento de cereal via rodo-ferroviário na STEMA;
- Aumentar a produtividade dos equipamentos envolvidos no manuseio de cereal na linha de recebimento rodo-ferroviário da STEMA;
- Propôr mecanismos para o melhoramento do processo de recebimento rodo-ferroviário na STEMA;

CAPÍTULO 2: REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Transportadores para cereais

Transportar é a arte ou ciência de movimentar materiais de um ponto para o outro em qualquer direcção ou sentido, com menor dano mecânico possível. O processo de movimentar materiais pode ser externo através de transportes marítimos, fluviais, terrestre, ferroviários ou interno por meio de transportadores, empilhadeiras, gruas, etc.

Os matérias transportados podem ser a granel (líquido, granulado ou em pó) e unitário (unitário ou paletizado).

2.1.1. Classificação das máquinas de elevação e transporte

As máquinas de elevação e transporte são classificadas em dois grupos principais:

- Máquinas de funcionamento periódico ou de elevação;
- Máquinas de funcionamento continua ou máquina transportadoras.

2.1.2. Máquinas de funcionamento continua ou máquinas transportadoras

A máquina de funcionamento continua subdividem se em:

- a) Máquinas de funcionamento continua com elemento de tracção;
- b) Máquinas de funcionamento continua sem elemento de tracção;

2.1.3.1 Máquinas de funcionamento continua com elemento de tracção

As máquinas de funcionamento continua com elemento de tracção são subdivididas em:

- Máquinas de funcionamento continua de fita de aço;
- Máquinas de funcionamento continua de raspadores;
- Máquinas de funcionamento continua de balde;
- Máquinas de funcionamento continua de berço;
- Máquinas de funcionamento continua de carrinha;

- Máquinas de funcionamento continua de cinta;
- Máquinas de funcionamento continua suspenso.

2.1.3.2 Máquinas de funcionamento continua com elemento de tracção

As máquinas de funcionamento continua sem elemento de tracção são subdivididas em:

- Máquina de funcionamento continua por gravidade;
- Máquina de funcionamento continua de parafuso;
- Máquina de funcionamento continua de rolo;
- Máquina de funcionamento continua de força magnética;
- Máquina de funcionamento continua vibratório;
- Máquina de funcionamento continua oscilante;
- Transportador de tubo;

2.2. Transportador de corrente por arrasto

Um transportador de corrente por arrasto é uma máquina de transporte de material particulado (grão) através de arrasto por palhetas presas numa ou em duas correntes. Normalmente o sistema de arrasto dá-se numa caleira de secção transversal rectangular ou quadrada constituída por chapas metálicas unidas entre si por meio de parafusos e/ou por meio de soldadura. As palhetas de arrasto podem ser feitas de metal, plásticas, fibras e podem estar presas na corrente por meio da soldadura ou parafusos.

Os transportadores de corrente por arrasto podem ser de corrente simples ou corrente duplo e podem transportar material na posição horizontal ou oblíquo.

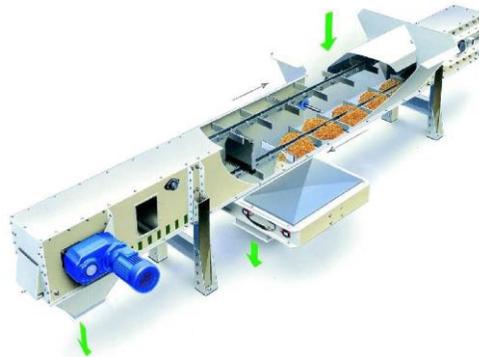


Figura 1: Transportador de corrente por arraste de corrente simples

2.2.1. Constituição do transportador de corrente por arrasto

O transportador de corrente por arrasto é constituído por três partes principais:

- a) **Cabeça do transportador de corrente por arrasto** – é a parte do transportador que se encontra alojada o sistema de accionamento. O sistema de accionamento é composto por um motor eléctrico, uma caixa redutora e o pinhão de ataque. O motor eléctrico transforma a energia eléctrica em energia mecânica para accionar a caixa redutora. Uma vez que o motor eléctrico possui baixo torque é acoplado a uma caixa redutora de forma a dar o torque necessário para o funcionamento da máquina. A transmissão do movimento do motor eléctrico para a caixa redutora pode ser feita através de um acoplamento ou directo (para um motor eléctrico flangeado). O pinhão de ataque é responsável por mover a corrente; ele recebe o torque da caixa redutora através do veio.
- b) **Corpo do transportador de corrente por arrasto** – é a zona de trabalho, isto é, trata se da zona onde o material é arrastado desde a entrada na calha até ao ponto de saída da mesma. De forma a minimizar o atrito entre a corrente e o fundo da calha é instalado um sistema de trilho de desgaste por onde passa a corrente, este sistema minimiza também o desgaste da chapa de base.
- c) **Cauda do transportador de corrente por arrasto** – é a zona onde se localiza o pinhão accionado. É geralmente montado nesta zona um sistema de esticamento da corrente.

As correntes para este tipo de transportador podem ser classificadas em duas categorias principais; as correntes forjadas (Drop Forged Chain) e as correntes de elos de arrasto duplo (Double Drag Link Chain).



a) Drop Forged Chain

b) Double Drag Link Chain

Figura 2: Principais tipos de correntes usados para transportadores

2.2.2. Parâmetro de funcionamento de um transportador de corrente por arrasto

- a) **Quantidade volumétrica** – Para determinar a produtividade de um transportador de corrente por arrasto recorre se a seguinte formula:

$$Q_v = A * v * 3600 \quad (1)$$

Onde: Q_v – Capacidade volumétrica [m³/h]

A – Secção transversal do cereal dentro do transportador [m²]

v – Velocidade da corrente [m/s]

- b) **Quantidade mássica** – é a quantidade em quilogramas ou toneladas que é transportada por cada unidade de tempo. É directamente proporcional ao volume e a densidade do material transportador.

$$Q_m = Q_v * \rho \quad (2)$$

- c) **Massa do material dentro da calha** – Trata se de um parâmetro que é directamente proporcional a quantidade mássica, a distância que é transportado o material e é inversamente proporcional a sua velocidade; é determinada pela seguinte formula:

$$Mass_1 = \frac{Q_m * Dis}{v * 3.6} \quad (3)$$

Onde: $Mass_1$ – Massa de material na corrente [Kg]

Dis – Distancia a ser transportado [m]

- d) **Potencia de accionamento** – é a potência necessária para que se realize o trabalho; é determinada pela seguinte formula:

$$P_t = \frac{(v*Mass_1*\mu_1+Mass_2*\mu_2)*9.81}{1000} \quad (4)$$

Onde: P – Potencia de accionamento [Kw]

μ_1 – Atrito entre o metal (fundo da calha) e o produto, varia de 1 a 1.5;

$Mass_2$ – Massa total da corrente [Kg]

μ_2 – Atrito entre o metal (fundo da calha) e a corrente, para arrastadores de metal é aproximadamente 0.25 e 0.15 para arrastadores de plástico.

- e) **Velocidade da corrente** – é um parâmetro fundamental para determinar a capacidade de um transportador de corrente por arrasto; para transportadores de corrente a velocidade depende do número de dentes do pinhão do ataque e do passo da transmissão. Diversos fabricantes limitam a velocidade da corrente; por exemplos para “ScanChain” a corrente deve ter uma velocidade máxima de 30m/min (0.5m/s) e para “KETTEN TRANSMISSION” pode chegar até 0.7m/s.

$$v = \frac{z*p*n}{60000} \quad (5)$$

Onde: z – Número de dentes [-]

p – Passo da corrente [mm]

n – Número de rotações [rpm]

2.3. Elevadores de canecas

Um elevador de canecas é um equipamento concebido para elevar material granular ou em pó de um nível relativamente inferior para um nível superior através de canecas presas numa cinta (tapete/correia) ou numa corrente (cadeia).

As canecas presas no tapete ou na corrente, carregam produto que entra pela calha de alimentação, são elevadas até o nível superior. Chegadas no tambor de accionamento (nível superior) as canecas

invertem a o sentido (tomam o sentido de cima para baixo). Nesse ponto as canecas lançam o produto para a calha de descarga e voltam vazias.



Figura 3: Elevador de canecas

2.3.1. Classificação dos elevadores de canecas

2.3.1.1. Quanto ao tipo de carregamento

Quanto ao tipo de carregamento os elevadores de canecas podem ser classificados em:

- a) **Scoop loading** – neste tipo de elevador, as canecas começam o processo de carregamento na base elevador até a altura de entrada de cereal na calha.
- b) **Carregamento directo (para elevadores de descarga centrifugo)** – neste tipo de elevador a caneca é carregada pelo material que cai na calha de alimentação. O material que cai na base do elevador é recolhido e volta a ser introduzido na calha, há uma realimentação.
- c) **Carregamento directo (para elevadores de descarga por gravidade)** – neste tipo de elevador as canecas são carregadas pelo material que entra pela calha de alimentação. Se defere do carregamento directo para elevadores de descarga centrifuga pelo facto de apresentar o passo menor entre as canecas; isto é, as canecas estão dispostas uma atrás da outra.

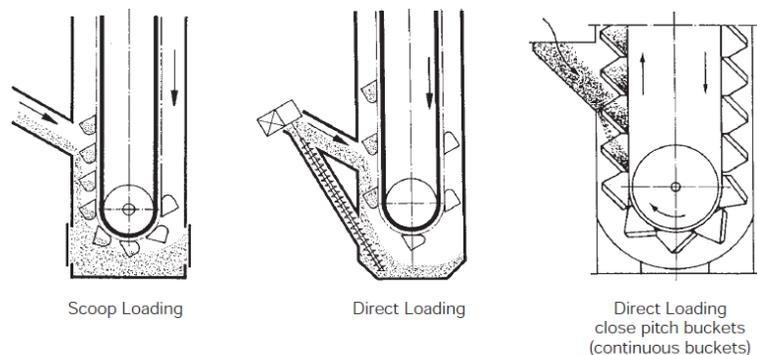


Figura 4: Formas de carregamento de elevadores de canecas (Fonte: Dunlop 1994)

2.3.1.2. Quanto ao tipo de descarga

Quanto ao tipo de descarga, os elevadores de canecas podem ser:

- Elevadores com descarga por gravidade** – neste tipo de elevadores de canecas o material é descarregado por meio da força de gravidade, ou seja, a velocidade das canecas não é suficiente para lançar o material do seu interior. Para o “DUNLOP 1994” este tipo de elevador tem a corrente com velocidade máxima de 1,2m/s.
- Elevadores com descarga centrífuga** – neste tipo de elevadores a velocidade da correia impulsiona uma força centrífuga que permite o lançamento do material para fora da caneca. Para “DUNLOP 1994” a velocidade mínima é superior a 1,2m/s e para o mesmo autor não deve ser superior a 4.2m/s.

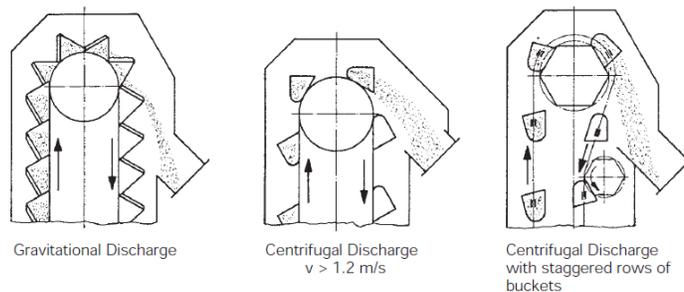


Figura 5: Formas de descarga de um elevador de canecas (Fonte Dunlop 1994)

2.3.2. Constituição de um elevador de canecas

O elevador de canecas é constituído por:

- a) **Pé do elevador** – é a parte inferior do elevador de canecas. No pé do elevador encontra-se a calha de alimentação que é responsável pelo recebimento material, direccioná-lo até ao corredor das canecas; é nesta zona que se encontra o tambor inferior (tambor de conta-peso), responsável pelo esticamento do tapete e pela reverção do sentido das canecas.
- b) **Cabeça do elevador** – é a parte superior do elevador de canecas. Na cabeça do elevador encontra-se a calha de descarga que é responsável pelo direccionamento do cereal até a saída do elevador. Nesta zona está localizado o sistema de accionamento do elevador responsável.
- c) **Corpo do elevador** – é a parte central por onde corre a cinta/cadeia. É nesta zona onde se encontra as portas de Inspeção de canecas e correia, é colocado também o sistema de alívio de pressão no interior do elevador.
- d) **Motor eléctrico** – responsável por transformar a energia da rede eléctrica pela energia mecânica;
- e) **Caixa redutora** – é responsável pela transformação da potência do motor eléctrico num torque suficiente para a elevação das canecas carregadas. Geralmente é ligado do motor eléctrico através de um acoplamento ou através de um motor eléctrico flangeado.
- f) **Veio do tambor de accionamento** – transmite o torque da caixa redutora para o tambor de accionamento. A ligação entre a caixa redutora e o veio é feita por meio de uma chaveta.
- g) **Tambor** – é um cilindro geralmente oco que transmite ou recebe o movimento do tambor. É ligado ao veio por meio de parafusos, uniões soldadas ou chaveta. Um elevador de canecas possui dois tambores, tambor de accionamento e tambor accionado. Para o caso dos elevadores de canecas que usam cadeia (corrente), os tambores são substituídos por um pinhões.
- h) **Cinta (tapete)** – é um órgão executivo da máquina na qual são presas as canecas por meio de parafusos e porcas. É responsável pela elevação das canecas e do seu retorno. Para alguns elevadores de canecas a cinta é substituída por meio de uma cadeia.

- i) **Canecas (taças)** – são recipientes fixas na cinta por meio de parafusos e porcas, são responsáveis pela elevação do cereal do pé do elevador até a cabeça, lançando até a calha de descarga.

2.3.3. Parâmetro de funcionamento de um elevador de canecas

2.3.3.1. Capacidade de um elevador de canecas

- a) **Quantidade volumétrica** – Para determinar a produtividade de um elevador de canecas pode se recorrer a seguinte formula.

$$Q_v = 3,6 * v * \varphi * \frac{V_b}{a} \quad (6)$$

Onde: Q_v – Quantidade volumétrica [m³/h]

v – Velocidade do tapete [m/s]

φ – Grão de enchimento das canecas [%]

V_b – Volume das canecas [litros]

a – Distância entre as canecas [m]

De forma a aumentar a produtividade de um elevador de canecas pode se duplicar ou triplicar a fileira das canecas, desta forma, a quantidade manuseada por hora é directamente proporcional ao número de fileiras das canecas:

$$Q_{vi} = Q_v * i \quad (7)$$

Onde: i – Número de fileiras das canecas

- b) **Quantidade mássica** – De forma a determinar a produtividade do elevador em toneladas é necessário considerar a densidade do material a elevar conforme a fórmula abaixo:

$$Q_m = Q_{vi} * \rho \quad (8)$$

Onde: Q_m – Quantidade mássica; [t/h]

ρ – Densidade do material a transportar; [t/m³]

- c) **Potência do motor de accionamento** – Conforme referido nos pontos anteriores, o elevador de canecas é accionado por um motor eléctrico que é dimensionado pela seguinte fórmula:

$$P_m = \frac{P_t}{\eta} \quad (9)$$

Onde: P_m – Potência do motor eléctrico [kw]

P_t – Potência no veio motor [kw]

η - Produto entre o rendimento do motor eléctrico, acoplamento e rendimento da caixa reductora;

- d) **Potência do veio motor** – é a potência necessária para accionar o tambor de accionamento. É determinado através da fórmula abaixo:

$$P_t = \frac{F_u \cdot v}{1000} \quad (10)$$

Onde: F_u – Força periférica [N]

- e) **Força periférica** - A força periférica é uma tensão que resulta da diferença entre a tensão no lado de elevação e o lado de retorno das canecas.

$$F_u = T_1 - T_2 \quad (11)$$

Onde: T_1 – Tensão do lado de elevação de canecas [N]

T_2 – Tensão do lado de retorno; [N]

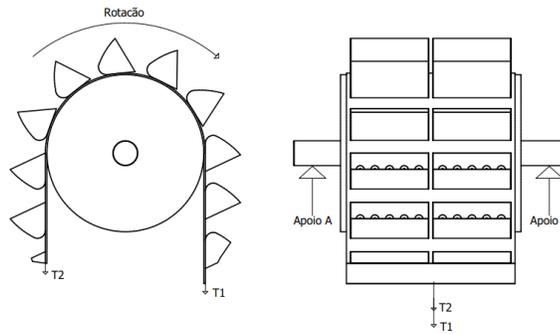


Figura 6: Força que actua num elevador de canecas (fonte Dunlop 1994)

Analisando a fórmula 11 pode se concluir que a tensão do lado de elevação de canecas deve ser superior da tensão do lado de retorno das canecas. Não conhecendo as tensões T_1 e T_2 pode se determinar a tensão periférica através da fórmula:

$$F_u = C_N * \frac{Q_m * g * (H + H_o)}{3.6 * v} \quad (12)$$

Onde: C_N – Factor da segunda resistência (para elevador de canecas $C_N=1.1$)

g – Aceleração de gravidade [m/s²]

H – Altura da elevação [m]

H_o – Altura adicional [m]

A altura adicional é uma força que depende da velocidade do tapete do elevador de canecas e pode ser determinado por:

$$H_o = 4 * v + 1.5 \quad (13)$$

2.3.3.2. Forças que actua num elevador de canecas

- a) **Tensão da correia no lado da elevação das canecas** – Para a “DUNLOP 1994”, um elevador de canecas é composto por diversas forças conforme ilustra a figura 7. Conforme a mesma a tensão no lado de elevação das canecas é expressa por:

$$T_1 = F_u + T_{st} + T_v + T_t \quad (14)$$

Onde: T_{st} – Tensão causada pela massa das canecas e do tapete [N]

T_v – Pré tensão do tapete [N]

T_t – Tensão produzida pela massa do tambor de accionado [N]

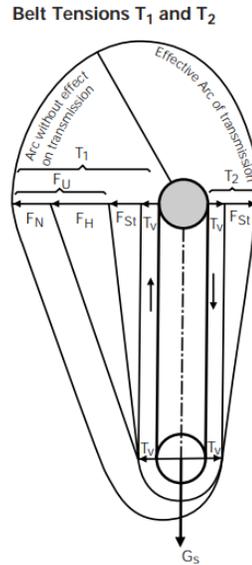


Figura 7: Representação esquemática de um elevador de canecas (Fonte Dunlop 1994)

- b) **Tensão causada pela massa das canecas e do tapete** – trata se duma força que actua no lado da elevação das canecas assim como lado de retorno, é determinado pela seguinte fórmula:

$$F_{st} = H * 9.81 * (m'B + m'G) \quad (15)$$

Onde: $m'B$ – Massa das canecas e dos acessórios de fixação [kg/m]

$m'G$ – massa do tapete [kg/m]

Para a “DUNLOP 1994” o peso do tapete é estimado com base na densidade do material a carregar e para o caso da densidade menor que 1t/m³ é dada pela seguinte fórmula:

$$m'G = 8,5 * B \quad (16)$$

Onde: B – largura do tapete que é estimado pela equação:

$$B = b * B + 30 \text{ a } 100mm \quad (17)$$

- c) **Pré tensão** – A pré tensão T_v é a força mínima necessária para que evitar o escorregamento entre o tapete e o tambor motriz. A pré tensão é determinada pela fórmula:

$$T_v = C_2 * K_a * F_u - F_{st} - T_t \quad (18)$$

Onde: C_2 – factor de condução, que é determinada por:

$$C_2 = \mu a = \mu + 0.05 \quad (19)$$

μ – É o coeficiente de atrito entre o tapete e o tambor;

K_a – coeficiente a considerar no acto de arranque a máquina e é dado por:

$$K_a = k * \frac{Pn}{Pm} \quad (20)$$

Onde: K – Coeficiente que depende do tipo de acoplamento;

- d) **Tensão causada pelo tambor de accionamento** – é uma força causada pelo tambor que se encontra no pé do elevador de canecas. Este tambor pode estar suspenso no tapete (correia) servindo como contrapeso, ponto de retorno das canecas e auto alinhamento do tapete ou pode ser fixo por meio de fusos e porcas servindo apenas como ponto de virada das canecas. Segundo “DUNLOP 1994” é dada por:

$$T_t = \frac{Gt * 9,81}{2} \quad (21)$$

Onde: Gt – massa do tambor movido,

- c) **Tensão no lado de retorno das canecas** – Esta força se difere da força no lado de elevação das canecas por não apresentar a força periférica. É determinada pela fórmula:

$$T_2 = F_{st} + T_v + T_t \quad (22)$$

2.4. Transportador de tapete (correia)

Um transportador de tapete é uma máquina que transporta material assente num tapete. Os transportadores de tapetes podem transportar material granular de uma forma continua ou material unitário, numa posição horizontal ou obliqua. Os transportadores de tapetes são de diversa aplicação na industrial alimentar, mineração, agrícola e outro, podendo transportar material a metros de distância até mesmo a quilómetros de distâncias.

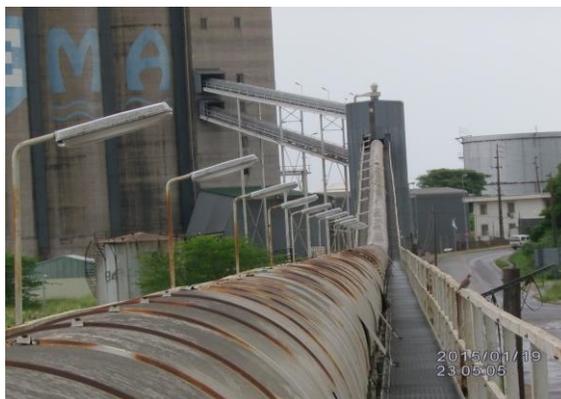


Figura 8: Transportador de tapete BC3 da STEMA

2.4.1. Constituição de um transportador de tapete

Um transportador de tapete é constituído por três partes principais:

- a) **Sistema de accionamento** – é o conjunto formado por motor eléctrico, caixa redutora, veio de accionamento e tambor de accionamento.
- b) **Tapete** – é um órgão essencial para o funcionamento do transportador, é nela que assenta a carga e é transportada até ao local pretendida.
- c) **Tambor** – é um rolo no qual o tapete abraça transmitindo ou recebendo o torque. Um transportador de tapete possui no mínimo dois tambores, **tambor de accionamento** que recebe o torque da caixa redutora através de um veio e transmite para o tapete; **tambor accionado** que recebe o torque do tapete. O tambor accionado serve como um ponto de virada do tapete e para transportadores com menor comprimento é montado o sistema de esticamento e alinhamento de tapete. Para transportadores de maior capacidade e comprimento possuem tambor de contrapeso, onde é instalado o sistema de esticamento de tapete. Para transportadores de maior capacidade de carga é instalado junto ao tambor de accionamento um tambor de encosto para dar maior angulo de abraçamento ao tapete.



Figura 9: Tambor de accionamento de um transportador de tapete

- d) **Roletes** – são rolos de diâmetro menor em comparação com os tambores que servem de suporte do tapete ao longo do seu corpo. Tem dois tipos principais de roletes, roletes de carga e roletes de retorno. Os roletes de retorno servem para suportar o tapete no lado de tensão menor. Os roletes de carga são instalados no lado que suporta a carga; para os transportadores de tapetes para material granular são de menor comprimento em comparação com roletes de retorno. Os roletes de carga são fixos numa estrutura que comporta dois roletes formando um “v” ou podem ser três ou mais formando “U”.



Figura 10: Cavaletes e rolete de carga e do lado direito rolete de retorno

- e) **Chute** – é uma estrutura montado no transportador de tapete com finalidade de facilitar ao carregamento e a descarga do material no transportador. O chute de descarga é montado por cima do tapete e o chute de descarga é montado no fim do transportador.
- f) **Tripper** – trata se de uma estrutura que é colocado por cima de um transportador de tapete para material granular de forma a possibilitar a descarga em qualquer ponto do mesmo. É uma estrutura móvel, com capacidade de descarregar nos dois lados de transportador.



Figura 11: Tripper do transportador de tapete da STEMA

2.4.2. Parâmetros de um transportador de tapete

2.4.2.1. Capacidade do transportador de tapete

- a) **Quantidade volumétrica** – é o parâmetro fundamental para analisar a produtividade de um transportador, é determinado pela fórmula:

$$Q_v = A * v * 3600 * \varphi \quad (23)$$

Onde: A – Área de secção transversal [m²]

v – Velocidade do tapete [m/s]

φ – Grau de enchimento do tapete [-]

- b) **Quantidade mássica** – é a capacidade de transportador em massa por unidade de tempo; é dada pela fórmula 2;

2.4.2.2. Área da secção transversal

Área (A) trata se da secção transversal do material transportado, ela depende essencial do ângulo de acomodação do material para transportador que possuem um rolete de carga e do ângulo de acomodação do material do ângulo de inclinação dos roletes para transportadores com dois ou mais roletes de carga, conforme ilustra as figuras abaixo.

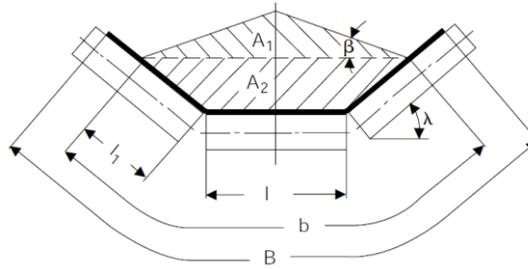


Figura 12: Seção transversal do cereal para transportadores três roletes (Fonte Dunlop 1994)

Num transportador de tapete com mais de dois roletes de carga para a seção transversal do material é o somatório das duas seções conforme a equação:

$$A = A_1 + A_2 \quad (24)$$

2.4.2.2.1. Seção transversal para transportadores com um rolete de carga

A seção A_1 é causada pelo ângulo de acomodação do material e é determinado por:

$$A_1 = 0.25 * tg\beta * [(l + (b - l) * \cos\lambda]^2 \quad (25)$$

De forma a evitar o derrame do material ao longo da estrutura do transportador é necessário o comprimento da borda do tapete, ou seja; o tapete não deve ser carregado até a sua largura máxima.

Para determinar a largura máxima “b” recorre se a equação:

$$b = 0.9 * B - 50mm \quad (26)$$

Onde: B – é a largura do tapete [mm]

l – é o comprimento do rolete central [mm]

O ângulo β é o ângulo de repouso do material e depende de cada tipo de material. Pela fórmula concluiu se que o ângulo β deve ser superior a zero ($\beta > 0$).

O ângulo de inclinação λ de roletes varia de 0° a área A_1 é máxima e diminui com o aumento do ângulo de inclinação de roletes.

2.4.2.2.2. Secção transversal para transportadores com dois rolete de carga

A secção A_2 é causada pelo ângulo de inclinação dos roletes e é determinado por:

$$A_2 = l_1 * \text{sen}\lambda * (l + l_1 * \text{cos}\lambda) \quad (27)$$

Onde: l_1 – altura máxima do material em contacto com tapete [mm]

Para a obtenção a área A_2 , o ângulo de inclinação de roletes λ não deve ser igual 0° e a área A_2 é máxima quando o ângulo de inclinação λ for igual a 45° .

A altura máxima do material em contacto com o tapete para um transportador de três roletes de carga é determinada pela equação:

$$l_1 = 0.5 * (b - l) \quad (28)$$

2.4.2.3. Velocidade do tapete

Tal como nos elevadores de canecas a velocidade do tapete depende do número de rotações e do diâmetro do tambor de accionamento. É determinada pela fórmula 19.

Para a FAÇO, a velocidade do tapete varia de 1m/s até aproximadamente 4.1m/s. Para o mesmo autor ao transportar material fino e seco a velocidade não pode ser excessiva porque pode causar poeiras e para material grosso e pesado a velocidade excessiva causa maior desgaste das calhas de descarga (chute de descarga).

2.4.2.4. Grau de enchimento

Para transportadores de tapete considera se tapete cheio quando o comprimento “b” estiver preenchido. Esse parâmetro depende da quantidade fornecida ao transportador de tapete. Geralmente para o dimensionamento de um transportador de tapete considera se grau de enchimento igual a 1, ou seja; considera se que o tapete esta 100% carregado.

CAPÍTULO 3 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

A STEMA S.A. é uma terminal de cereais situada no porto da Matola. Possuía inicialmente uma capacidade de armazenagem de 30600 toneladas de cereais em 18 silos, permitindo assim a armazenagem de diversos tipos de produtos em destaque milho, trigo, soja e malte. Como foi referenciada na parte introdutória, inicialmente a STEMA recebia cereais que descarregava com a capacidade de 250t/h e fazia expedições a uma capacidade de 100t/h. Na linha de recebimento de camiões ou vagões a capacidade de descarga é de 100t/h e esse cereal era apenas destinado para o consumo interno.

Com a instalação da segunda fase, melhorou-se a capacidade de armazenagem para 27 silo com capacidade total de 45900 toneladas e construiu-se a linha de exportação (expedição) marítima com capacidade de 500t/h. Este evento permitiu a exportação de diversos cereais vindo do mercado da África do Sul através de camiões que são descarregados a uma velocidade inicialmente projectada de 100t/h.

As regiões sul africanas próximo a fronteira com Moçambique, destacam se na produção de diversas culturas tais como cereais que são exportados para diversos mercados do mundo. Devido a distância para acesso ao porto de Durban e associada as restrições de energia eléctrica que esta zona enfrenta, tem crescido a procura dos serviços dos portos moçambicanos em destaque o porto de Maputo e o porto da Matola, facto que tem contribuído para a maior procura dos serviços de transporte rodoviário para escoarem os seus produtos até esses portos.

De forma a satisfazer as reais necessidades do mercado a STEMA S.A. deve melhorar os seus serviços em destaque para o processo de recebimento de cereais via camiões e o processo armazenagem. Esse problema é notório quando camiões fazem fila para o acesso ao local de descarga, chegando a permanecer no recinto da STEMA cerca de 3 a 4 horas. É também notório quando o processo de expedição marítima coincide num período em que se prepara para o recebimento marítimo onde há maior fluxo de camiões para carregarem e outros para descarregarem cereais.

CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

4.1. Metodologia de investigação

Para o presente Relatório de Estágio Profissional foi analisado os equipamentos de manuseio de cereal instalados na terminal STEMA bem como manuais dos fabricantes dos mesmos. Recolha e analise de dados dos processos de recebimento rodo-ferroviário bem como do processo de expedição marítima no seu geral.

Para redimensionar o elevador de canecas E2 baseou se no manual do fabricante “DUNLOP, 1994”, “REYNOLDO GOMIDE, 1983” e diversos artigos e normas publicados por fabricantes e utentes destas tipo de equipamento.

O transportador de corrente é equipamentos bastante robusto de fácil operação. Para o melhoramento da sua capacidade recorreu-se aos manuais dos fabricantes “VAV CONVEYOR COMPONENTS AND SOLUTIONS”, catálogos do fabricante “SCANCHAIN” e catálogo do fabricante das corrente “KETTEN TRANSMISSION”.

Para verificar a capacidade dos transportadores de tapete BC5 e BC6 baseou-se no manual do fabricante “DUNLOP, 1994”, manual do “MILMAR, 2002” e o “MANUAL DE TRANSPORTADORES DE CORREIA FAÇO” que não possível identificar o ano da sua publicação.

O processo de recolha de dados baseou-se também na entrevista feita aos funcionários das áreas de produção e manutenção que contaram a sua experiência desta a montagem da terminal e das diversas fases da sua melhoria.

4.2. Identificação das causas operacionais que afetam o desempenho do equipamento

O processo de recebimento dos camiões na STEMA começa na guarita, onde é registada a matrícula do camião, a hora de entrada na STEMA, o tipo de processo (carregamento ou descarga), o tipo produto e a origem do mesmo. Uma vez recolhido os dados do camião, é entregue a requisição ao operador da sala de controle onde é feita a mesma verificação. Analisados os dados acima

mencionados, o caminhão é autorizado a se dirigir-se para zona de descarga. Antes da descarga verifica-se estado do Intake (ponto de descarga de caminhão) se esta vazio. Depois da descarga, o caminhões deve esperar a pesagem completa do produto pela balança de fluxo SC2 e depois produzir um recibo que é entregue ao camionista.

O processo acima descrito, mostra que independentemente da capacidade do intake apenas é permitido a descarga de um caminhão por cada vez.

A tabela abaixo mostra o resumo dos dados dos caminhões milho descarregados entre dia 26 a 27 de Agosto de 2023.

Tabela 1: Planilha resumida de lançamento de caminhões (Fonte: STEMA)

n	Nome da transportadora	Matrícula	Hora da chegada	Hora início	Hora fim	Tempo de espera para descarga	Tempo de pesagem	Tempo total de espera	Tipo de produto	Peso (kg)
1	VERWEY VERVOER	KSX 766 MP	18:13	18:16	18:44	0:03	0:28	0:31	MILHO	35,580.6
2	VERWEY VERVOER	KSX 767 MP	18:15	18:48	19:13	0:33	0:25	0:58	MILHO	36,022.4
3	VERWEY VERVOER	KHV579MP	18:20	19:14	19:41	0:54	0:27	1:21	MILHO	36,154.2
4	VERWEY VERVOER	KMJ352MP	18:25	19:44	20:16	1:19	0:32	1:51	MILHO	33,905.8
5	VERWEY VERVOER	KSV319MP	18:30	20:16	20:43	1:46	0:27	2:13	MILHO	34,884.8
6	VERWEY VERVOER	KSX764MP	18:34	20:44	21:13	2:10	0:29	2:39	MILHO	35,106.8
7	VERWEY VERVOER	KSV317MP	19:30	21:13	21:39	1:43	0:26	2:09	MILHO	34,102.0
8	RS REGAL	KTC063MP	19:32	21:40	22:06	2:08	0:26	2:34	MILHO	33,742.4
9	VERWEY VERVOER	KVZ480MP	19:45	22:09	22:37	2:24	0:28	2:52	MILHO	36,544.2
10	RS REGAL	KTC096MP	21:29	22:37	23:02	1:08	0:25	1:33	MILHO	33,814.6
11	RS REGAL	KTC050MP	21:35	23:03	23:29	1:28	0:26	1:54	MILHO	34,098.8
12	TEXMACOM	DW08YJGP	21:45	23:30	0:01	1:45	0:31	2:16	MILHO	35,881.8
13	RS REGAL	KTC100MP	21:47	0:01	0:27	2:14	0:26	2:40	MILHO	33,752.2
14	PANGOLIN BULK	FZW547L	23:22	0:31	1:00	1:09	0:29	1:38	MILHO	35,570.4
15	PANGOLIN BULK	FLF597L	23:25	1:00	1:28	1:35	0:28	2:03	MILHO	35,170.8
16	VERWEY	KSV337MP	23:39	1:28	1:47	1:49	0:19	2:08	MILHO	17,262.8
17	RAND AGRI	KWP404MP	23:45	1:55	2:28	2:10	0:33	2:43	MILHO	35,239.0
18	RANDAGRI	KTB218 MP	23:51	2:29	2:54	2:38	0:25	3:03	MILHO	35,735.6
19	RANDAGRI	KRH504 MP	0:10	2:56	3:24	2:46	0:28	3:14	MILHO	34,882.8
20	PANGOLIN BULK	FRK533 L	0:16	3:28	3:55	3:12	0:27	3:39	MILHO	35,998.0
21	PANGOLIN BULK	FJX766 L	0:49	3:57	4:26	3:08	0:29	3:37	MILHO	36,013.6
22	RANDAGRI	KT 224 MP	1:52	4:28	4:58	2:36	0:30	3:06	MILHO	36,289.0
23	RS REGAL	KTC040 MP	1:59	5:00	5:32	3:01	0:32	3:33	MILHO	33,814.8
24	RS REGAL	KTC044 MP	2:55	5:35	6:03	2:40	0:28	3:08	MILHO	33,894.2
25	FRAKANE TRADING	KMW157MP	4:47	6:07	6:36	1:20	0:29	1:49	MILHO	35,997.8
Tempo total de descarga							11:33	Quantidade total descarregada	859,459.4	

Da tabela, o caminhão número 2 levou 25 minutos para descarregar 36 022.4Kg de milho enquanto o caminhão número 4 levou 32 minutos para descarregar 33 905.8Kg de milho. Considera se a fórmula:

$$Produtividade = \frac{Qd}{1000 * \frac{Tb}{60}} \quad (29)$$

Onde: Qd – Quantidade descarregada [kg]

Tb – Tempo de trabalho [minutos]

Da fórmula 29 pode se calcular produtividade do caminhão 2 e do caminhão 4 respetivamente:

$$\text{Para caminhão número 2: } Produtividade = \frac{36,022.4}{1000 * \frac{25}{60}} = 86.38t/h$$

$$\text{Para caminhão número 4: } Produtividade = \frac{33,905.8}{1000 * \frac{32}{60}} = 63.61t/h$$

O caminhão número 2 foi descarregado a uma velocidade de 86.38t/h e o caminhão número 4 foi descarregado a uma velocidade de 63.61t/h. Esse cálculo mostra que o equipamento não está a produzir na sua máquina capacidade, variando para cada caminhão descarregado.

Tendo acompanhado a operação de descarga de camiões constatou-se:

- Ao descarregar o caminhão não há equilíbrio do produto nas duas tremonhas do intake;
- A falta de um sinal sonoro e luminoso na controlador da balança de fluxo de 2;

O intake ferroviário (onde são descarregados camiões e vagões) é constituído por duas tremonhas de betão que alimentam dois transportadores de corrente CC2 e CC3. Ao se descarregar o produto do caminhão há necessidade de balanceamento da carga nas duas tremonhas de modo a evitar que um dos transportadores fique sem produto baixando assim a velocidade da linha para a metade.

Verificou se também que não há um mecanismo que define o tempo que o operador da sala de controle deve iniciar com a pesagem na balança e também não há mecanismo que alerte ao operador da sala quando o cereal for totalmente escoado e pesado completamente pela balança de fluxo SC2.

Os problemas acima propostos podem ser eliminados montando uma báscula que possibilitará o escoamentos continua do cereal dado que os camiões serão dirigidos a zona de descarga depois da

pesagem e o peso contido em cada camião será através da diferença de peso quando este pesar na saída.

A introdução da báscula elimina-se o tempo de espera do camião para a vazão completa do intake e o tempo de espera para a pesagem total do produto, sendo que há necessidade de aumentar a capacidade do equipamento envolvido na linha de recebimento de camiões e vagões de forma a equilibrar com o processo de expedição marítima.

4.3. Melhoramento da produtividade dos transportadores de corrente por arrasto CC2 e CC3

4.3.1. Velocidade da corrente

A linha de recebimento rodo-ferroviário da STEMA envolve dois transportadores de corrente por arrasto que são responsáveis por movimentar o cereal do ponto de descarga dos camiões até ao elevador de canecas E2; são denominados por transportador de corrente CC2 e transportador de corrente CC3. Cada transportador possui uma capacidade de projectada de 55 t/h. Como foi abordado na parte introdutória a linha de expedição marítima possui uma capacidade de 500t/h e de forma a dinamizar a produção é pretendida a mesma capacidade para a recepção de camiões ou vagões. Analisando a fórmula 1, a capacidade volumétrica depende da velocidade da corrente e da secção transversal do cereal dentro da calha.

A STEMA possui transportadores de corrente por arrasto denominados CC4, CC5 e CC6 com a capacidade projectada de 275 t/h cada e para o efeito de melhoramento da capacidade dos transportadores de corrente por arrasto CC2 e CC3 será usado os seus parâmetros geométricos.

Tomando em consideração os transportadores de corrente CC4, CC5 e CC6 escolhe-se como dados de entrada uma caixa redutora com a rotação com 23 rpm no veio da saída, um pinhão de ataque com 10 dentes e com um passo de 160mm. Com base na fórmula 5 determina-se a velocidade da corrente.

$$v = \frac{10 * 160 * 23}{60000} = 0.61m/s$$

4.3.2. Quantidade volumétrica

A norma DIN 8165 distingue dois tipos de corrente, sendo que para o melhoramento de transportadores CC2 e CC3 será usado corrente dupla FV140 com o passo de 160mm e 475mm de largura, porem será necessário deixar 10mm por cada lado de modo a evitar o contacto da corrente com a estrutura em caso de um desalinhamento. Como foi referenciado no ponto anterior será usado um pinhão de ataque FV140, passo de 160mm com 517.78 de diâmetro médio, 543.78 de diâmetro externo e 491.75 de diâmetro do pé do dente. O fabricante “ScanChan” recomenda que a altura do cereal deve ser no máximo de 70% do diâmetro externo do pinhão. Com base no acima proposto a secção transversal de cereal é:

$$A_{cer} = (l_{cor} + 2 * 10) * d_e * 70\% \quad (29)$$

Onde: A_{cer} – Secção transversal do cereal [m²]

l_{cor} – Largura da corrente [m]

d_e – Diâmetro externo do pinhão [m]

Substituindo os dados na fórmula 6;

$$A_{cer} = (0.475 + 2 * 10) * 0.54378 * 70\% = 0.175m^2$$

Conhecendo a área da secção transversal determina se a quantidade volumétrica através da fórmula 1;

$$Q_v = 0.175 * 0.61 * 3600 = 386.31m^3/h$$

4.3.3. Quantidade mássica

Para determinar a quantidade mássica é necessário conhecer a quantidade volumétrica e a densidade do cereal. Sendo máquinas usadas para transportar diverso tipo de cereal vai se usar densidade média de 0.72t/m³. Usando a fórmula 2 determina:

$$Q_m = 386.31 * 0.72 = 278.14t/h$$

4.3.4. Massa de material dentro da calha

Conhecendo a quantidade mássica, a velocidade da corrente e sabe se que o cereal é transportador do ponto de descarga de camiões até ao elevador de canecas E2; as dois pontos distam se 21.5m uma da outra. Com base na fórmula 3 determina se:

$$Mass_1 = \frac{278.14 * 21.5}{0.61 * 3.6} = 2,708.38 Kg$$

4.3.5. Potência de accionamento

É considerado 1.15 como coeficiente de atrito entre o metal e o cereal; a corrente irá trabalhar com arrastadores de plástico. Sendo que o comprimento do transportador é 21.5m, é necessário duplicar a medida do transportador para se achar o comprimento total da corrente sabendo que, a corrente tem um peso de 6.56kg/m

$$P_t = \frac{(0.61 * 2,708.38 * 1.15 + 282.08 * 0,15) * 9.81}{1000} = 19.16kw$$

Tendo determinado a potência do veio motor, é necessário determinar a potência do motor eléctrico, para o efeito considera um motor com eficiência de 95%.

$$P_m = \frac{P_t}{\eta} \quad (30)$$

Onde: P_m – Potência do motor eléctrico [kw]

η - Rendimento do motor eléctrico [%]

Substituindo os dados na fórmula 30, obtém se:

$$P_m = \frac{19.16}{0.95} = 20.16 kw$$

Uma vez que não se encontra disponível no mercado motor electrico de 20.46kw será aplicado um motor electrico de 22.5kw.

4.3.6. redimensionamentos dos veios dos pinhões

Numa transmissão por corrente (cadeia) surge forças no lado tenso da corrente e outras forças no lado bambo (frouxo). Do lado tenso surge a força principal para transmissão designada pela força útil (F_u) e a força centrífuga (F_c) resultante do engrenamento entre os elos da corrente e dentes do pinhão. Do lado bambo da corrente encontra se a força centrífuga (F_c) e a força catenária (F_{cat}) que resulta do peso próprio da corrente.

Para determinar o diâmetro do veio do pinhão deve se conhecer o torque, daí há necessidade de calcular a força útil usando a seguinte formula:

$$F_u = \frac{P_t * 1000}{v} \quad (31)$$

Substituindo os dados na fórmula 31:

$$F_u = \frac{19.16 * 1000}{0.61} = 31,231.35N$$

Conhecendo a força útil determina se o diâmetro do veio usando a fórmula seguinte:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * T}{\pi * \tau}} \quad (32)$$

Onde: d – diâmetro do veio [mm]

T – Torque exigida ao veio [Nmm]

τ – Tensão admissível ao cisalhamento [MPa]

O torque depende da força útil e do diâmetro, daí que a inequação 32 fica:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * F_u * d_m}{\pi * \tau * 2}} \quad (33)$$

Para dimensionar um veio carregado é necessário levar em conto as tensões de cisalhamento e as tensões causada pela flexão (Elementos de Máquina 1, Joseph Edward Shigley). Para o mesmo autor o material para fabrico de veios tem tensão admissível a cisalhamento que varia de 12 a 15 N/mm².

Para o presente trabalho será considerado ao valor médio de 13N/mm² como tensão admissível ao cisalhamento do veio.

Substituindo os dados na inequação 33 teremos:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 31,231.35 * 517.78}{3.14 * 13 * 2}} = 146.89 \cong 147\text{mm}$$

4.3.7. Dados calculados dos transportadores de corrente por arrasto CC2 e CC3

Tabela 2: Dados dos novos transportadores de corrente CC2 e CC3

Dados do pinhão e da corrente			
Número de dentes	Z	10	-
Diâmetro médio do pinhão	d _m	517.78	mm
Diâmetro externo do pinhão	d _{ex}	543.78	mm
Diâmetro do pé do dente do pinhão	d _i	491.78	mm
Número de rotações	rpm	23	rpm
Passo da corrente/pinhão	P	160	mm
Largura da corrente	L _{cor}	475	mm
Velocidade da corrente	V _{cor}	0.61	m/s
Estrutura do transportador			
Largura do transportador	L _t	495	mm
Altura do transportador	H _{tc}	600	mm
Comprimento total do transportador	C _{ce}	21.5	m
Funcionamento			
Altura do cereal	H _{ce}	370.35	mm
Quantidade volumétrica	Q _v	24.48	m ³ /h
Quantidade mássica	Q _m	17.63	t/h
Potência do veio motor	P _t	19.16	KW
Potência do motor	P _m	20.16	KW

4.4. Melhoria da produtividade do elevador de canecas E2

Como visto no subcapítulo anterior, foi melhorado a capacidade dos transportadores de corrente CC2 e CC3 de 55 t/h para 278t/h cada, os dois fornecendo um fluxo de aproximadamente 556t/h para o elevador de canecas E2. Com este fluxo há necessidade de aumentar a capacidade do elevador de canecas E2 para suprir com a demanda.

Para redimensionar o elevador de canecas E2 é analisada a fórmula número 6; a capacidade de um elevador de canecas depende da velocidade, do grau de enchimento das canecas, do volume das canecas e a disposição das mesmas.

Sendo necessário melhorar a capacidade do elevador de canecas E2, serão melhorados os parâmetros acima descritas.

4.4.1. Volume da caneca

A capacidade de uma caneca é dada por litros. A norma DIN distingue cinco grandes grupos principais tipos de canecas para elevadores, sendo que a DIN 15 232 distingue canecas para material granular (milho, cereal, arroz e soja, etc).

Para o elevador de canecas E2 da STEMA, as canecas são do tipo DIN 15232 com dimensões 315x180X190 (largura, projecção, altura) e com uma capacidade de 3,55 litros.

A partir da fórmula em análise, pode se concluir que com aumento da capacidade da caneca é possível aumentar a carga volumétrica do elevador.

Para o efeito escolhe se canecas do mesmo tipo, com dimensões de 500x224X236 mm cuja sua capacidade são 9,0 litro.

Tabela 3: Canecas DIN 15232

Flat rounded buckets to DIN 15232 for light granular materials such as grain.

Width b_B (mm)	Projection e_B (mm)	Height h_B (mm)	Weight of Bucket in kg with steelsheet Thickness in mm						Bucket capacity V_B in litres
			0.88	1	1.5	2	3	4	
80	75	80	0.14	0.16					0.17
100	90	95	0.21	0.24	0.36				0.3
125	106	112	0.30	0.34	0.51	0.68			0.53
160	125	132		0.50	0.75	1.00			0.9
200	140	150		0.68	1.02	1.40	2.10		1.4
250	160	170		0.94	1.40	1.90	2.80		2.24
315	180	190			1.95	2.60	3.85	5.20	3.55
400	200	212				3.55	5.30	7.10	5.6
500	224	236					7.20	9.60	9

4.4.2. Grau de enchimento

O grau de enchimento das canecas depende do tipo de carregamento e da quantidade do material fornecido no pé do elevador de canecas. Portanto do estudo feito para elevadores da STEMA conclui se que o grau de enchimento varia 0,9 a 1 ou seja as canecas são carregadas até 90-100% da sua capacidade nominal.

Para a determinação da nova capacidade do elevador de canecas E2 vai se considerar o grau de enchimento $\varphi = 0,95$ ou seja as canecas serão carregadas a 95%.

4.4.3. Velocidade do tapete

A velocidade do tapete é uma variável que é directamente proporcional a capacidade de um elevador de canecas. Para o fabricante “DUNLOP 1994”, a velocidade de um elevador de canecas de descarga centrífuga varia de 1,02 a 4,2 m/s. A velocidade é determinada por:

$$v = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{60} \quad (34)$$

Sendo que: n – Número de rotações; [rpm]

π – Pi, é igual a 3.14; [-]

D – Diâmetro do tambor de accionamento. [m]

Para o caso dos elevadores de canecas o “ n ” é fornecido pela caixa redutora (gear box) que é padronizado pelo fabricante, ou seja, o “ n ” depende da caixa redutora e do motor eléctrico a usar.

Não conhecendo as características do motor eléctrico a usar e o torque pretendido opta se pela aplicação do número de rotação da caixa reductora anteriormente usada na máquina, ou seja, adota se 77rpm.

Com o mesmo número de rotações, para aumentar a velocidade é necessário aumentar o diâmetro do tambor de accionamento, contudo há uma relação entre o diâmetro do tambor de accionamento a distância entre as canecas.

$$a = \frac{0,5 * \pi * D}{N_c} \quad (35)$$

Onde: N_c – é o número de canecas na metade da parte superior do tambor

Analisando o elevador de canecas E2 da STEMA fabricado pela “CONDOR” com o diâmetro do tambor de accionamento igual a 0.8m e distância 0.227m entre canecas, tem se:

$$a = \frac{0,5 * \pi * D}{N_c} \leftrightarrow N_c = \frac{0,5 * \pi * D}{a} = \frac{0,5 * 3,14 * 0,8}{0,227} = 5,5 \cong 6 \text{ canecas}$$

Tendo em conta a geometria das canecas com altura $h_B=0.236m$, a distância “a” não deve se igual ou inferior ao h_B de modo a evitar colisão das mesmas ao descrever o perímetro do arco dos tambores e permitir melhor escoamento do material carregado.

$$a > h_B \quad (36)$$

De modo a satisfazer a condição (36), aumenta-se o diâmetro do tambor para 1000mm (1 metro), tendo em consideração o $N_c = 5$ canecas.

$$a = \frac{0,5 * \pi * D}{N_c} = \frac{0,5 * 3,14 * 1}{5} = 0,314 \text{ m}$$

Comparando com a condição (36):

$$0,314 > 0,236 \text{ (é verdade, não haverá colisão das canecas)}$$

Tendo em conta os parâmetros acima mencionados, calcula-se a nova velocidade do elevador de canecas E2.

$$v = \frac{n * \pi * D}{60} = \frac{77 * 3,14 * 1,0}{60} = 4,03 \text{ m/s}$$

4.4.4. Nova capacidade do elevador de canecas E2

a) Quantidade volumétrica Q_v

Tendo todos parâmetros analisados e ajustados em função da nova realidade calcula-se a nova quantidade volumétrica do elevador, usando a fórmula número 6;

$$Q_v = 3.6 * 4.03 * 0.95 * \frac{9}{0.314} = 395.01 \frac{m^3}{h}$$

Deforma a alcançar uma velocidade equivalente a velocidade de expedição marítima é necessário duplicar as fileiras das canecas e recorre se a fórmula 7 para determinar a velocidade equivalente:

$$Q_{vi} = 395.01 * 2 = 790.02 m^3/h$$

b) Quantidade mássica Q_m

Tratando se de um elevador de canecas que movimenta todo o tipo de cereal, usa se a densidade média; no caso dos elevadores da STEMA foi usado 0.72 t/m^3 .

$$Q_m = 790.02 * 0.72 = 568.81 t/h$$

4.4.5. Redimensionamento do motor eléctrico para o elevador de canecas E2

4.4.5.1. Altura do elevador de elevador de canecas

Para determinar a potência do elevador canecas é necessário primeiro conhecer a velocidade do elevador, a quantidade mássica e a altura de elevação. A altura de elevação é um dado mensurável, porém deve se calcular primeiro a altura adicional do elevador usando a fórmula 13.

$$H_0 = 4 * 4.03 * +1.5 = 17.61m$$

4.4.5.2. Força periférica do elevador de canecas

A força periférica do elevador de canecas é determinada usando a fórmula 12:

$$F_u = 1.1 * \frac{568.81 * (48.25 + 17.61)}{3.6 * 4.03} = 29,985.75 \text{ N}$$

4.4.5.3. Potencia do veio do tambor de accionamento

Tendo calculado a força periférica e conhecendo a velocidade do tapete do elevador determina se através da fórmula 4, a potencia do veio do tambor de tambor de accionamento:

$$P_t = \frac{29,985.75 * 4.03}{1000} = 120.83 \text{ Kw}$$

4.4.5.4. Potência do motor eléctrico

Através da fórmula 3, determina se a potência do motor eléctrico, considerando com rendimento do mesmo 98%, segundo catálogos da SEW.

$$P_m = \frac{120.83}{0.98} = 128.43 \text{ Kw}$$

Uma vez que não se encontra disponível no mercado motor electrico de 20.46kw será aplicado um motor electrico de 132kw.

4.4.6. Determinação das forças que actuam no elevador de canecas E2

De acordo com a fórmula 11, o elevador de canecas é composto por duas forças principais, tensão do lado de elevação das canecas e a tensão do lado de retorno das canecas. A tensão do lado de elevação do tapete é composta pela força periférica anteriormente calculada, peso do tapete e das canecas, a pré tensão e a força exercida pelo peso do tambor accionado.

4.4.6.1. Tensão causada pela massa das canecas e o tapete (correia)

De acordo com a fórmula 15, a massa das canecas e do tapete causam uma tensão no tambor de accionamento.

- a) **Massa do tapete (correia)** – Considerando a fórmula 16 para determinar o peso do tapete e a fórmula 17 para estimar a largura do tapete. A caneca usada para o melhoramento da capacidade do elevador tem uma largura de 500mm e considerando que são duas fileiras estima se 1000mm comprimento ocupado por canecas. Considerando também o espaçamento de 25mm entre elas e 25mm entre a borda do tapete e a caneca; tem se:

$$B = 1000 + 75 = 1,075mm = 1.075m$$

Com base na fórmula 16, calcula se a massa do tapete por metros:

$$m'G = 8.5 * 1.075 = 10.63Kg/m$$

- b) **Massa das canecas e acessórios de fixação** – As canecas usadas para incrementar a produtividade do elevador de canecas E2 tem uma massa de 7.2Kg e considerando que a distância entre elas é de 0.314m pode se estimar a massa que possuem por metros.

$$m'B = 2 * \left(7.2 * \frac{1}{0.314} \right) = 45.86Kg/m$$

- c) **Tensão causada pela massa das canecas e massa do tapete**

Segundo a fórmula 15:

$$F_{st} = H * 9.81 * (m'B + m'G)$$

Substituindo os dados na equação:

$$F_{st} = 53.25 * 9.81 * (45.86 + 10.63) = 29,506.75N$$

4.4.6.2. Tensão causada pelo tambor accionado

Para determinar a tensão causada pela massa do tambor accionado recorre se a fórmula 21, para isso deve se consultar o peso do mesmo na tabela abaixo.

Tabela 4: Relação de dimensões e peso de tambores para elevadores de canecas (Fonte Dunlop 1994)

Pulley Width (mm)	Pulley Diameter (mm)						
	315	400	500	630	800	1000	1250
125	16	20	27	35	45	70	110
160	20	25	35	45	60	80	135
250	25	30	45	55	80	115	175
350	40	45	70	90	125	180	270
450	42	60	75	115	160	230	310
550	50	70	80	130	190	300	360
650	55	75	95	150	210	350	420
850	65	90	115	180	250	450	550
1000	80	100	140	200	300	540	680
1250	100	115	160	230	350	670	840
1400	110	125	175	260	370	750	959

Tendo em conta que o tapete possui 1075 mm de largura escolhe se um tambor de 1250mm de largura com um diâmetro de 1000mm, o que significa que o tambor possui um peso de 670Kg, então:

$$T_t = \frac{670 * 9.81}{2} = 3,286.35N$$

4.4.6.3. Pré tensão

A pré tensão é a força mínima necessária para que não haja escorregamento entre o tambor de accionamento e o tapete.

A pré tensão depende do factor de condução e o coeficiente k_a . Sendo que o elevador de canecas funciona dentro do edifício de máquinas, considerando que o tambor é seco e revestido. Na tabela abaixo escolhe se o valor do coeficiente de fricção: $\mu=0.45$.

Tabela 5: Coeficiente de atrito do tambor de accionamento com o tapete

Pulley Surface	Cage Pulley		Drive Pulley			
	B	A	Bare		Lagged	
			B	A	B	A
Wet	-	-	0.10	0.15	0.25	0.35
Damp	0.10	0.15	0.15	0.25	0.30	0.40
Dry	0.15	0.25	0.20	0.30	0.35	0.45

B = Running
A = Start-up

Substituindo valor na fórmula:

$$C_2 = 0.45 + 0.05 = 0.50$$

O coeficiente K_a depende da potência do motor eléctrico e do tipo de acoplamento entre o mesmo e a caixa redutora, sendo que pela tabela abaixo $k=1.5$.

Tabela 6: Factor K_a

Type of drive	k
Squirrel cage, full voltage starting	2.2
Drive with fluid coupling	1.4 - 1.6
Slip ring motor	1.25

Substituindo valor na fórmula:

$$K_a = 1.5 * \frac{150}{128.38} = 1.75$$

Usando a fórmula 18, determina se a pré tensão:

$$T_v = 0.5 * 1.75 * 29,985.75 - 29,506.71 - 3,286.5 = -6,516.92N$$

Sendo que $T_v < 0$ não é necessária pré tensão.

4.4.6.4. Tensão do lado e elevação das canecas

Segundo a fórmula 14:

$$T_1 = F_u + T_{st} + T_v + T_t$$

Sendo que T_v é negativo, a equação fica:

$$T_1 = F_u + T_{st} + T_t$$

Então determina se o T_1 :

$$T_1 = 29,985.75 + 29506.71 + 3,286.35 = 62,778.81N$$

4.4.6.5. Tensão no lado de retorno das canecas

Segundo a fórmula 22:

$$T_2 = T_{st} + T_v + T_t$$

Sendo que T_v é negativo, a equação fica:

$$T_2 = T_{st} + T_t$$

Então determina se o T_2 :

$$T_2 = 29,506.71 + 3,286.35 = 32,793.06N$$

4.4.7. Verificação da condição de escorregamento do tapete no tambor de accionamento

Para melhor funcionamento do elevador de canecas é necessário verificar a condição abaixo.

$$\frac{T_1}{T_2} \leq e^{\mu\alpha} \quad (37)$$

Considerando o ângulo de abraçamento igual a 180° e o coeficiente de atrito igual a 0.45, consulta se o valor de $e^{\mu\alpha}$ que é 4.11, conforme a tabela abaixo:

Tabela 7: Relação entre T_1/T_2

μ	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
$e^{\mu\alpha}$	1.37	1.60	1.87	2.19	2.56	4.00	3.52	4.11

Substituindo os dados na fórmula:

$$\frac{62,778.81}{32,793.06} \leq 4.11 \leftrightarrow 1.91 \leq 4.11$$

A condição da inequação 37 verifica-se, o que significa que o elevador vai funcionar sem escorregamento entre o tambor de accionamento e tapete.

4.4.8. Redimensionamento do veio do elevador de canecas E2

Como foi referência no ponto 4.2.6. para o presente trabalho considera se 13Mpa com tensão admissível ao cisalhamento.

Os veios do elevador de canecas 2 da STEMA foram feitos por aço SAE 1045 que segundo o manual dos aços da “GERDAN 2003” tem tensão de ruptura σ_e que varia de 165 a 250N/mm². Considerando $\sigma_e = 250\text{N/mm}^2$ e um factor de segurança de 1.5 teremos:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{F_s} = \frac{250}{1,5} = 166,67\text{N/mm}^2$$

4.4.8.1. Redimensionamento do veio motriz usando a momento torsor

- a) **Com base no momento torsor** - Com base nos dados anteriormente calculado o diâmetro do tambor é 1000mm e força a ser levantada é $F_u=29,985.75\text{N}$. Para determinar o torque é:

$$T = F_u * \frac{D}{2} \quad (38)$$

Onde: D – é o diâmetro do tambor de accionamento [mm]

Da fórmula 38, conclui se que:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * F_u * D}{3,14 * [\tau] * 2}} \quad (39)$$

Da fórmula 39, determina se o diâmetro do veio:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 * 29,985.75 * 1000}{3,14 * 13 * 2}} \geq 180,46\text{mm}$$

- b) **Com base na força de flexão** – o efeito deste ponto é necessário determinar o momento flector máximo. Com base na figura 5, pode se verificar que as forças que actuam no veio motor são:
- Tensão $T_1=62,778.81\text{N}$
 - Tensão $T_2=32,793.06\text{N}$
 - Massa do tambor $T_T=670\text{Kg}$

Da figura em análise pode se concluir que o momento flector actua no centro entre os dois apoios, daí que:

$$Mfmax = (T1 + T2 + Gt * 9,81) * 0,625 \quad (40)$$

A partir da fórmula (26) determina se o momento flector máximo

$$Mfmax = (62,778.81 + 32,793.06 + 670 * 9,81) * 0,625 = 63,840,354.85Nmm$$

Com base no momento flector e na tensão admissível acima estimada pode ser usada a seguinte fórmula:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{Mfmax * 32}{3,14 * [\sigma]}} \quad (41)$$

Determinando o valor de veio com base na fórmula (41):

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{63,840,354.85 * 32}{3,14 * 166,67}} \geq 157,45mm$$

Tendo usado dois métodos para calcular o diâmetro do veio motor, vai se escolher o maior diâmetro calculado, logo $d = 182mm$. O diâmetro resultante da flexão é usado para estimar o diâmetro do pé do elevador tendo conta que sofre as mesmas tensões que causam flexão, logo $dp = 158mm$.

4.5. Verificação da capacidade dos transportador de tapete BC5 e BC6

Os transportadores de tapete na STEMA são usados nas diversas linha operativas, para o presente trabalho são analisados os transportadores de tapete envolvidos na linha de recebimento de camiões e vagões (transportador de tapete BC5 e transportador de tapete BC6). Durante a implementação do projecto da STEMA foram disponibilizados diversos catálogos dos equipamentos para diversas consultas operacionais e manutenção, portanto; para o caso dos transportadores de tapetes estes manuais não estão disponíveis. Para a obtenção de dados destes transportadores foi feita uma entrevista aos técnicos de operação e manutenção, bem como alguns trabalhadores que

participaram na implementação do projecto da primeira fase. Com base nessa entrevista conclui-se que os dois transportadores funcionam com uma capacidade de 500t/h o que é favorável para a implementação do presente projecto. Portanto será feito um cálculo de verificação usando os dados retirados nos respectivos transportadores.

Tabela 8: Dados dos transportadores de tapete BC5 e BC6

Potência do motor eléctrico	18.5KW
Número de rotação do motor eléctrico	1400rpm
Número de rotação na saída da caixa redutora	101rpm
Diâmetro do veio motor	60mm
Diâmetro do tambor de accionamento	500mm
Largura do tapete	1000mm
Número de roletes de carga	2 roletes
Ângulo de inclinação dos roletes	20°

4.5.1. Velocidade do tapete do BC5 e BC6

A velocidade do tapete do transportador é determinada pela equação 34, portanto substituindo os dados na fórmula tem se:

$$v = \frac{n * \pi * D}{60} = \frac{101 * 3,14 * 0,5}{60} = 2,64 \text{ m/s}$$

4.5.2. Área da secção transversal

Os transportadores de tapete BC5 e BC6 possuem cavaletes que suportam dois roletes de cargas e que tem um ângulo de inclinação $\lambda=20^\circ$; conforme ilustra a figura abaixo:

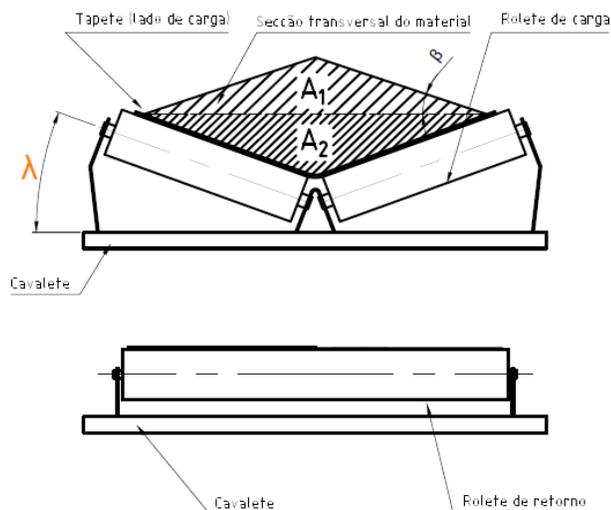


Figura 13: Representação da seção transversal dos transportadores de tapete BC5 e BC6 da STEMA

A STEMA é uma empresa que trabalha com cereais, segundo o manual da “FAÇO” os cereais possuem um ângulo de acomodação que varia de 15° a 44° . Para o presente trabalho é considerado 15° como ângulo de acomodação do material. Usando a fórmula 26 determina-se o comprimento máximo ocupado pelo cereal:

$$b = 0.9 * B - 50mm = 0.9 * 1000 - 50mm = 850mm$$

Com base no comprimento máximo ocupado pelo cereal determina-se a área A_1 .

$$A_1 = 0.25 * tg\beta * [(l + (b - l) * \cos\lambda)^2]$$

$$A_1 = 0.25 * tg15^\circ * [(0 + (850 - 0) * \cos20^\circ)^2] * 1000 = 0.04168m^2$$

Para determinar a área A_2 é necessário primeiro determinar a altura l_1 .

$$l_1 = 0.5 * (850 - 0) = 425mm$$

Com base no comprimento l_1 determina-se a área A_2 .

$$A_2 = l_1 * \sen\lambda * (l + l_1 * \cos\lambda)$$

$$A_2 = 425 * \sen20^\circ * (0 + 425 * \cos20^\circ) * 1000 = 0.058052m^2$$

Calculado a área A_1 e área A_2 calcula-se a área total A .

$$A = A_1 + A_2 = 0.04168m^2 + 0.099972m^2 = 0.099972m^2$$

4.5.3. Verificação da capacidade dos transportadores de tapete BC5 e BC6

A quantidade volumétrica de um transportador de tapete depende da área da secção transversal, da velocidade do tapete e do grau de enchimento do mesmo. Para o presente trabalho considera-se que o tapete é carregado a 100%. Usando a fórmula 23, determina-se a quantidade volumétrica:

$$Q_v = A * v * 3600 * \varphi = 0.09972 * 2.64 * 3600 * 1 = 948.76m^3/h$$

Considerando $0.72t/m^3$ como densidade do cereal obtêm-se:

$$Q_m = Q_v * \rho = 948.76 * 0.72 = 683.10t/h$$

4.5.4. Análise do resultado do transportador de tapete BC5 e BC6

Tendo determinado a quantidade mássica (produtividade) do transportador de tapete BC5 e BC6 conclui-se que para o presente trabalho não será feita nenhuma modificação estrutural e incrementada a sua capacidade operacional; apenas será modificado o chute de alimentação para receber o cereal vindo da modernização do elevador de canecas E2.

4.6. Transportadores por gravidade

Transportadores por gravidade são aqueles que a carga (a granel ou unitária) é movimentada para um determinado sentido por acção do seu peso. Para que haja o deslocamento da carga é necessário que o dispositivo de transporte tenha uma inclinação. Para este tipo de transporte pode-se usar planos inclinados, calhas, tubos e dispositivos em espiral.

Na STEMA, os transportadores por gravidade do tipo tubos com secção transversal quadrangular e circular são usados para transportar cereal entre as máquinas. Na linha de recebimento rodoviário encontra-se transportadores por gravidade para a ligação entre:

- a) Transportadores de corrente CC2 e CC3 com o elevador de canecas E2;
- b) Do elevador de canecas E2 com a balança de fluxo SC2;

Com a implementação do presente projecto não será necessário a balança do fluxo SC2 e o elevador de canecas E3. Sendo assim essa linha fica desactivada.

Com o aumento da capacidade do elevador de canecas E2 de 137t/h para 568 t/h serão instalados transportadores por gravidade de forma a alimentar os transportadores de tapete BC5 e BC6. Segundo “MILMAR 2002” escolhe se um transportador por gravidade tubular de 500mm de diâmetro ou quadrangular com secção transversal equivalente. Segundo “MILMAR 2002” para grãos secos é necessária uma inclinação mínima de 35° para o seu escoamento, foi com base nessa abordagem que se aumentou se a altura do elevador de canecas E2 de 48m para 53m.

Tabela 9: Capacidade dos transportadores por gravidade em função dos diâmetros (Fonte MILMAR 2002)

Capacidade de transporte (t/h)	Diâmetro da tubulação (mm)
20 a 40	150
40 a 80	200
80 a 150	250
150 a 200	320
200 a 400	400
400 a 600	500
600 a 750	600
750 a 800	800
800 a 1500	1000

Tabela 10: Ângulo mínimo de inclinação de transportadores por gravidade em função do tipo de produto

Produto	Inclinação em graus*
Grãos secos	35
Grãos úmidos	45
Material farelento	60
Café	60

* ângulo com o eixo horizontal

Capítulo 5: Apresentação, análise e discussão dos resultados

5.1. Apresentação e análise dos resultados

O presente relatório apresenta o estado actual do equipamento envolvido na linha de recebimento de camiões e vagões, propondo medida de solução para a melhoria de cada equipamento. A linha de recebimento de camiões e vagões funciona conforme o anexo I. De forma a melhorar a capacidade da mesma, o presente projecto prevê a substituição da balança de fluxo SC2 por uma báscula que deve ser montada no pátio num lugar que possa pesar todos os camiões antes e depois da descarga de cereais, prevê também a eliminação do elevador de canecas E3, eliminando assim o custo de operação e manutenção do mesmo. O anexo II ilustra, o funcionamento da nova linha de recebimento de camiões e vagões na STEMA com a capacidade melhorada para 500t/h.

Para alcançar este objectivo, é necessário melhorar a capacidade de cada transportador de corrente da actual capacidade de 55t/h para a capacidade calculada de 278t/h perfazendo os dois 556t/h. Para o efeito deve se considerar os parâmetros geométricos dos transportadores de corrente CC4, CC5 e CC6 que funcionam com a capacidade de 275t/h. O elevador de canecas E3 deverá ser aumentado a sua altura de 48m para 53.3m de forma a alcançar o ângulo mínimo necessário para escoamento do cereal através dos tubos que irão alimentar os transportadores de tapete BC5 e BC6. Deve se aumentar a sua capacidade de calculada de 137t/h para 568t/h uma vez que o elevador de canecas E2 sai do nível -5.60m para o nível 41.20m e com a nova capacidade chegará até ao nível 47.20, é necessário tomar em consideração as modificações estruturais no edifício de máquinas e analisar a integridade do mesmo.

Uma vez que a STEMA não possui no seu arquivo catálogo dos transportadores de tapete foi verificado a capacidade dos transportadores de tapete BC5 e BC6 através dos parâmetros geométricos retirados nas máquina. Apesar de se ter verificado que os dois transportadores de tapete têm a capacidade desejada para a implementação deste projecto há necessidade de modificar os chute de alimentação de forma atender as necessidade do elevador de canecas E2.

A tabela abaixo mostra a situação actual de equipamento envolvido na linha de recebimento rodo-ferroviário.

Tabela 11: Dados comparativos dos equipamentos envolvidos no recebimento rodo-ferroviário

Máquinas	Parâmetros	Projecto inicial	Projecto melhorado
Transportador de corrente CC2 e CC3	Capacidade volumétrica	76.39 m ³ /h	386.31 m ³ /h
	Capacidade mássica	55 t/h	278.14 t/h
	Velocidade da corrente	0.62 m/s	0.61 m/s
	Número de rotações	31 rpm	23 rpm
	Potência do motor	5,5 KW	19.55 KW
Elevador de canecas	Capacidade volumétrica	190,97 m ³ /h	790.02 m ³ /h
	Capacidade mássica	137.5 t/h	568.81 t/h
	Velocidade da corrente	3,37 m/s	4.03 m/s
	Capacidade da caneca	3,55 litros	9,0 litros
	Número de rotações	77 rpm	77 rpm
	Potência do motor	30 KW	128.38 KW
Transportador de tapete BC5 e BC6	Capacidade volumétrica	948.76 m ³ /h	-
	Capacidade mássica	683.10 t/h	-
	Velocidade da corrente	2.64 m/s	-
	Número de rotações	101 rpm	-
	Potência do motor	18.5 KW	-

5.2. Discussão dos resultados

A tabela número 1 mostra a descarga de 859 459.4 kg milho (aproximadamente 860 toneladas) trazido por 25 camiões num tempo máximo de 11 horas e 33 minutos. Da fórmula número 29 pode se calcular a velocidade máxima dessa descarga:

$$Produtividade = \frac{859,459.4}{1000 * \frac{693}{60}} = 74.74t/h$$

O resultados acima mostra que durante a descarga dos camiões em análise foi de 74.7 t/h. Com a montagem da báscula, modernização do equipamento de recebimento de camões e vagões, eliminação dos elevador de canecas E3 e balança de fluxo 2 vai se alcançar a capacidade da expedição marítima com uma eficiência operação aproximado a 100%.

Com base na fórmula 26 modificada pode se estimar o tempo máximo para a descarga dos 25 camiões com o equipamento melhorado:

$$Tb = \frac{Qd}{1000 * \frac{Produtividade}{60}} = \frac{859,459.4}{1000 * \frac{500}{60}} = 103.14 \text{ minutos}$$

O cálculo acima, mostra que com aplicação do presente projecto seria necessário 1 hora e 44 minutos para a descarga da mesma quantidade produzido na noite do dia 26 e na manhã do dia 27 de Agosto de 2023.

Para a implementação do deste projecto foram solicitados cotação do transportador de corrente e elevadores de canecas nos fornecedores chineses e estimados alguns custos com base nos trabalhos anteriormente feitos na STEMA conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 12: Estimativa de custo para o melhoramento da linha de recebimento de camiões e vagões (fonte autor)

Item	Capacidade [t/h]	Preço	Preço Total
Transportador de corrente	275 toneladas/ horas	2 X US\$15,350.00	18,241,500 mt
Elevador de canecas	500 toneladas/ horas	US\$62,140.00	
Báscula	60 toneladas	US\$8,140.00	
Transportadores por gravidade (tubos de queda)	500 toneladas/ horas	1,000,000.00 mt	
Estimativa do valor de montagem	-	2,500,000.00 mt	
Estimativa do valor da desalfandegamento e outras questões burocráticos	-	7,000,000.00 mt	

Conforme a tabela, estima-se 18,241,500.00mt para a aquisição e montagem do equipamento e sem contar com os custos operacionais é possível recuperar 30,000 toneladas se considerar o preço actual de US\$9.5 por cada tonelada manuseada.

Capítulo 6: conclusões e recomendações

6.1. Conclusão

O processo de recebimento de cereais via caminhões ou vagões na STEMA S.A. é um processo que começa com o registo do caminhão na guarita que em seguida é direcionado a zona de descarga. O caminhão descarregado fica no recinto da STEMA a espera da completa pesagem da carga só depois deste processo é impresso a quantidade recebida e entregue ao camionista. Este processo leva em média 22 a 33 minutos para uma carga média 35 toneladas; com esse tempo tem se conseguido descarregar dois caminhões por cada hora de trabalho totalizando um máximo de 44 a 46 caminhões por dia. Com a introdução da báscula será eliminada a balança de fluxo SC2 e não será necessário a permanência do caminhão na STEMA depois da descarga.

A prática mostra que enquanto o intake estiver na sua carga máxima a velocidade registada pela balança é maior, vai baixando a medida que o intake fica vazio chegando a registar velocidade abaixo de 40t/h alguns minutos antes da pesagem completa do cereal. Para além de evitar a permanência do caminhão a espera da documentação, a báscula ajudará na manutenção da carga máxima no intake fazendo com que a produtividade do equipamento seja máxima ao longo da produção.

Na prática, a introdução da báscula apenas resolve os problemas ligados as operações, uma vez que mesmo não havendo necessidade de saber a carga real de cada caminhão, a STEMA apenas consegue descarregar o cereal a 100t/h, velocidade não suficiente para expedir um navio de 22000 toneladas em uma semana. Para o efeito há necessidade de aumentar a produtividade dos equipamentos envolvidos nesta operação; aumentando a capacidade dos transportadores CC2 e CC3 para fazerem 500t/h, o elevador de canecas E2 para a mesma capacidade como visto no capítulo 4. O melhoramento do elevador de canecas E2 é acompanhado com a eliminação do elevador de canecas E3, diminuindo os custos de manutenção com o mesmo.

6.2. Recomendações

Do estudo feito para o melhoramento do processo de descarga de camiões e vagões na STEMA e conclusões tiradas, recomenda:

- Que seja implementado o presente projecto uma vez que se mostra viável estruturalmente e financeiramente, podendo aumentar o fluxo de cereal na STEMA, mantendo e angariando novos clientes;
- Para que o presente projecto seja implementado há necessidade de fazer pequenas modificações na estrutura do edifício de máquinas uma vez que não foi previsto o aumento capacidade do elevador de canecas E2 no projecto inicial;
- Com a implementação do presente projecto há necessidade de actualizar o software do controlador logico programável (PLC) de forma que esta nova linha arranque no comando automático.

6.3. Limitação de pesquisa

A presente pesquisa foi limitada por seguintes factos:

- Acesso aos dados dos transportadores de tapete BC5 e BC6;
- Dificuldade de contactar fabricante dos equipamentos instalados na STEMA para a obtenção de manuais usados na projecção dos seus equipamentos;

Bibliografia

- R.C. HIBBLER; Resistência dos Materiais, 5ª Edição;
- DUNLOP 1994; CONVEYOR BELT TECHNIQUE DESIGN AND CALCULATION
- Patric M. McGuire, PE; Conveyors Application, Selection, and Integration
- TIMOSHENKO/GERE 2; Mecânica dos sólidos
- REYNOLDO GOMIDE 1983; Operações unitária, 1º Volume: Operações com sistema de sólidos granulares
- MILMAR 2002; Equipamento para pré-processamento de grãos
- VAV CONVEYOR COMPONENTS AND SOLUTIONS; Fabricante de corrente e acessório para transportador de corrente
- SCANCHAIN; Fabricante de corrente e acessório para transportador de corrente
- KETTEN TRANSMISSION; Fabricante de corrente e acessório para transportador de corrente
- FAÇO; Manual de transportadores de correia

Anexos