

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM TRANSPORTADORES DE CORREIAS DE LONGA DISTÂNCIA – ESTUDO DE CASO\*

David Fernando de Carvalho<sup>1</sup>

### Resumo

Este estudo de caso foi solicitado por uma grande mineradora brasileira à Chemtech Engenharia, com o objetivo de avaliar um projeto de um Transportador de Correia de Longa Distância na fase conceitual, onde se buscava a otimização do consumo energético, mínimo investimento financeiro inicial e redução dos custos operacionais. O resultado deste estudo de caso foi usado como diretriz no projeto básico do equipamento, além de ser usado como referência para outros projetos similares.

**Palavras-chave:** Transportadores de correias; Eficiência energética; Análise de investimento.

### ENERGY EFFICIENCY OF LONG DISTANCE BELT CONVEYORS – STUDY CASE

#### Abstract

This case study was requested by a Brazilian Mining Company to Chemtech Engineering, with the purpose of evaluate a project for a long-distance belt conveyor in the conceptual phase, where it was seeking optimization of energy consumption, minimum initial financial investment and minimum operating costs. The result of this case study was used as a guideline in the basic design of that conveyor, in addition to being used as a reference for similar projects.

**Keywords:** Belt conveyors; Energy efficiency; Investment analysis.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico (UFU), Engenheiro de Operações Pleno, Lifecycle Solutions, Departamento de Mecânica, Chemtech Serviços de Engenharia e Software, Belo Horizonte, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Em parte dos projetos de grandes empreendimentos industriais, a empresa de engenharia responsável pelo projeto foca no consumo energético da planta como um todo, deixando para um segundo momento a análise energética individual de cada sistema e/ou equipamento.

Os transportadores de correia de longa distância (TCLDs) são equipamentos essenciais nas plantas de exploração de minério, pois é um equipamento que substitui a necessidade de transportes de materiais por caminhões, trens, teleféricos, obviamente dependendo da distância e quantidades de materiais a serem transportados.

Este estudo abordará de maneira direta, através de um estudo de caso solicitado por uma grande mineradora brasileira, sobre quais pontos se podem ter um ganho financeiro no investimento inicial e ainda um ganho nos custos operacionais de um TCLD.

O estudo de caso objeto deste trabalho é um projeto de um TCLD, ainda na fase conceitual, onde a análise de ganhos energéticos poderia ser implementada na fase de Engenharia Básica. Os dados de entrada considerados no projeto conceitual deste estudo de caso são mostrados na Tabela 1:

**Tabela 1 – Dados de entrada do projeto**

Dados de Entrada	Valores
Vazão mássica [t/h] (*)	5542,1
Capacidade volumétrica da Correia [m <sup>3</sup> /h/m/s]	881,0
Densidade do material [t/m <sup>3</sup> ]	1,8
Comprimento do TCLD [m]	841,7
Elevação entre entrada e saída [m]	90,4
Coefficiente de Atrito entre a correia e os roletes	0,025

(\*) Outra premissa mandatória para o projeto deste transportador de correia é que o mesmo deveria considerar uma futura expansão para atender a capacidade volumétrica de 7.004,5 t/h (Base Seca) ou 7.697,0 t/h (Base Úmida). Esta premissa será explicada no item 2.4.1 deste documento.

A Tabela 2 apresenta os documentos de referência utilizados para a elaboração desse estudo de caso.

**Tabela 2 - Documentos de referência**

Número	Descrição
NBR-6678	Transportadores contínuos – transportadores de correia – roletes – dimensões
CEMA - Belt Conveyors for Bulk Materials, 6ª edição (2005)	Handbook elaborado pela CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) sobre dimensionamento de transportadores de correia
Manual de Transportadores Contínuos da FAÇO, 4ª edição	Manual elaborado pela FAÇO (Fábrica de Aço Paulista)
Descritivo Técnico	Sistema de transportadores Mina de Mutuca – Terminal Olhos D'água
HA200 Idler Design Manual	Manual elaborado pela Sandvik – Fornecedor de Correias Transportadoras
DIN 22101	Deutsches Institut für Normung - Belt Conveyors for Bulk Materials

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise do ganho de eficiência energética em Transportadores de correia de longa distância se divide nas seguintes etapas:

- Análise de Tecnologias aplicáveis
- Análise de Rota / Arranjo
- Análise de Componentes
- Cálculo das Potências

A seguir serão apresentados breves descritivos destas etapas para este estudo de caso.

### 2.1 Análise de Tecnologias Aplicáveis

Para otimizar ao máximo o consumo energético de qualquer equipamento ainda na fase de projeto, deve-se primeiramente conhecer as tecnologias disponíveis no mercado e suas respectivas aplicabilidades, limitações operacionais e custos de fornecimento e de operação. No caso dos TCLDs, das tecnologias disponíveis no mercado, Cable-belt, RopeCon®, ESI (Roletes Duplos), Convencional e *High Speed*, as que se mostraram mais vantajosas para a aplicação deste estudo, foram a de TCLD Convencional e TCLD de Alta Velocidade (*High Speed*).

### 2.2 Análise de Rota / Arranjo

Outra forma de se otimizar o consumo energético é a escolha da melhor rota para instalação do TCLD.

A rota mais eficiente, em se tratando de TCLD, é aquela que possui poucas, ou mesmo nenhuma, oscilação vertical. Isto é, deve-se evitar a rota por vales e picos, buscando sempre que o TCLD acompanhe o mesmo nível topográfico.

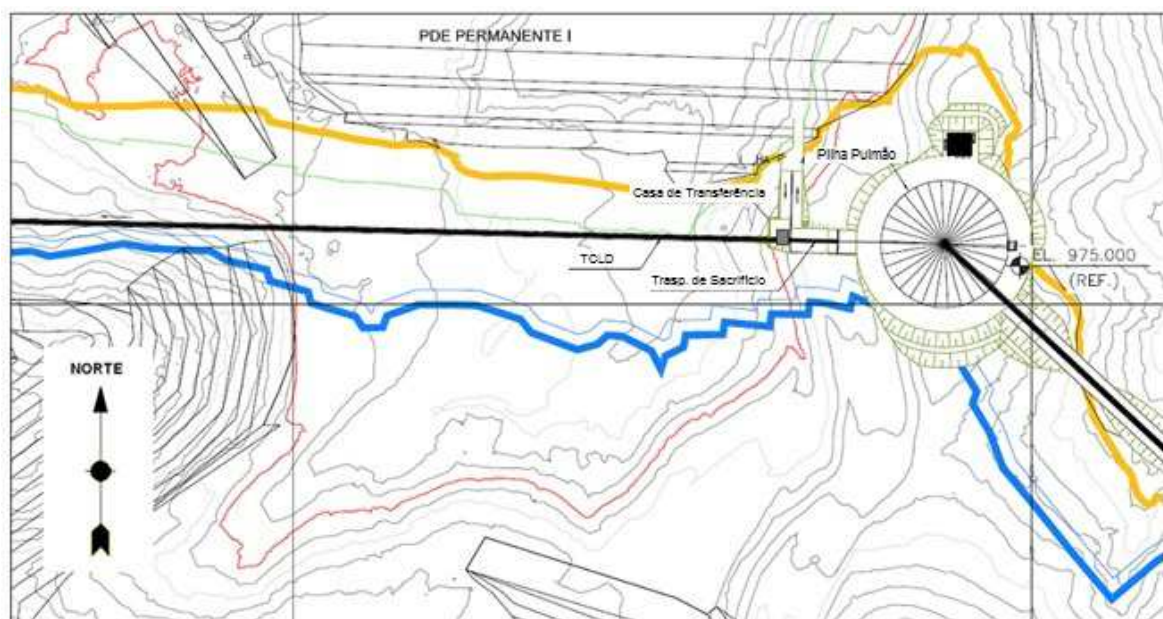


Figura 1 - Topologia da área a ser instalada a TCLD

Na Figura o nível do terreno do início o TCLD foi destacado de vermelho. De forma a evitar gastos de energia com elevação de material, dever-se-ia desviar o TCLD

conforme a orientação da linha vermelha. Nota-se que o desvio seria muito grande, impossibilitando a mudança da rota original.

As curvas horizontais, de acordo com o *Handbook* da CEMA (*Conveyor Equipment Manufacturers Association*), são “usualmente utilizadas para evitar obstruções que ocorrem no caminho retilíneo da correia, de forma a obter vantagens do terreno ou evitar áreas indesejadas”.

No entanto, ainda de acordo com a CEMA, existem algumas desvantagens em se utilizar curvas horizontais. Devido à deformação da correia, é criada uma “força de desestabilização”, que gera problemas como: desalinhamento, deterioração na bordas da correia, derramamento de material, etc.

Em suma, para o projeto em questão, o terreno onde será instalado o TCLD é bastante “acidentado”, impossibilitando mudar a rota proposta para execução do TCLD.

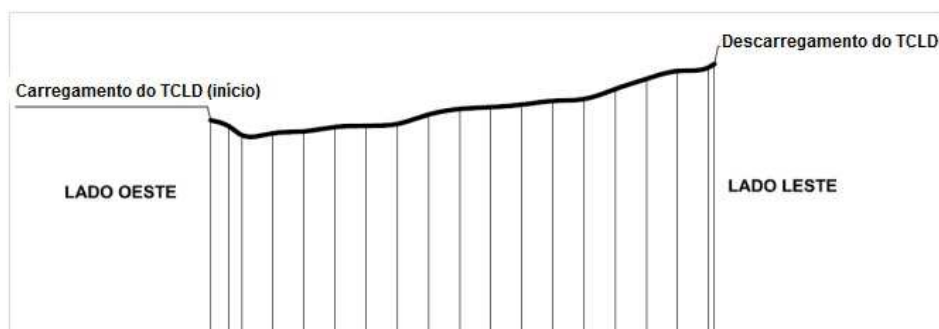


Figura 2 – Perfil do Terreno do TCLD objeto deste estudo

## 2.3 Análise Dos Componentes

### 2.3.1 - Roletes

O espaçamento entre roletes é definido, principalmente, pelas seguintes características:

- Peso da correia;
- Peso do material;
- Categoria do rolete;
- Deflexão da correia;
- Vida útil dos roletes;
- Categoria da correia;
- Tensão na correia;
- Raios de curvas verticais.

O livro *Belt Conveyors for Bulk Materials* mostra alguns valores de referência de espaçamento de roletes de carga e retorno, de acordo com a largura da correia e peso do material transportado. A Tabela 3 apresenta os valores recomendados pela CEMA, comparando-os aos valores que se utilizou no TCLD deste estudo:

Tabela 3 – Espaçamento entre roletes

Tipo de rolete	Recomendação CEMA	Valor adotado
Carga	1,1 m	1,5 m
Retorno	3,0 m	4,5 m

A velocidade angular utilizada na determinação da vida útil dos roletes é normalmente 500 rpm. Esta é a velocidade padrão na especificação de roletes e deve-se tentar utilizar rotações próximas a este valor. No entanto, no caso de TCLDs, os roletes podem girar a uma velocidade de até 900 rpm conforme norma DIN 22102.

Atualmente, alguns fabricantes já apresentam roletes do tipo “*formed rollers*”, nos quais o corpo do rolete e o mancal dos rolamentos são uma peça integral. Estes roletes possuem uma maior espessura da cobertura na sua parte central. Isto é feito devido ao fato do desgaste nesta região ser maior que nas extremidades, permitindo uma redução na quantidade de material, o que acarreta em equipamentos mais leves.

Além disso, os “*formed rollers*” permitem a utilização de maiores diâmetros de eixo, permitindo a redução total da massa e atrito. Este tipo de rolete também reduz desalinhamentos e deformações, aumentando a eficiência da transmissão. Estas características agem na redução da potência necessária ao acionamento, podendo chegar até 3 W por rolete.

De forma geral, o uso de “*formed rollers*” permite o aumento da capacidade do transportador de correia por meio do aumento da velocidade de operação e redução nos tempos de parada e manutenção, sem alterações na infraestrutura existente.

### **2.3.2 - Correia**

O elemento mais importante de um TCLD é a correia. Além de normalmente representar a maior parte do custo de um transportador, é um dos principais fatores que determinam a capacidade transportada. A capacidade de um transportador de correia é função principalmente da velocidade, largura e conformação da correia. Entretanto, há diversas variáveis envolvidas de forma indireta na determinação da capacidade destes equipamentos.

### **2.3.3 - Tambores**

Os tambores do transportador são os componentes que tracionam a correia ao longo de seu comprimento. O tambor principal de acionamento está conectado ao conjunto de acionamento por meio do seu eixo de transmissão, devendo ser especificado de forma a conseguir tracionar a correia durante seu funcionamento. Nos casos dos tambores, quanto maior o atrito com a correia, menor é a perda por escorregamento e consequentemente maior é o ganho energético.

### **2.3.4 - Raspadores**

Raspadores são dispositivos de limpeza que atuam em contato com o lado sujo da correia, após o tambor de descarga do material, fazendo com que o material raspado caia na calha de descarga. Desta forma, evitam-se danos aos tambores de desvio e aos roletes de retorno.

O bom dimensionamento e instalação do raspador propiciam um baixo coeficiente de atrito entre o equipamento e a correia, tendo como consequência uma maior eficiência energética.

## **2.4 - Cálculo das Potências**

O cálculo da potência do transportador de correia é fundamental para determinação do perfil de consumo de energia. Através deste cálculo que se estabelece qual tipo e a quantidade de acionamentos, se o transportador necessita de adequações no

terreno visando economia de energia, entre outras decisões técnicas envolvendo consumo energético.

Os cálculos para dimensionamento dos transportadores de correia são iterativos, ou seja, para cada parâmetro eles devem ser realizados diversas vezes até que se chegue a um valor ideal, já que os parâmetros a serem calculados possuem alto grau de relacionamento.

#### 2.4.1 – Cálculos para este estudo de caso

De forma a permitir o cálculo e dimensionamento do transportador de correia, é necessário a definição de algumas premissas e adoção de valores de entrada.

Durante a elaboração do projeto, foi observada a existência de uma consideração, onde o cliente solicitava que os transportadores de correia deveriam ser dimensionados para atender a capacidade volumétrica de 7.004,5 t/h (Base Seca) ou 7.697,0 t/h (Base Úmida).

A adoção de valores mais elevados (7.004,5 / 7.697,0 t/h) foi motivada por uma possível expansão do sistema. Prever o aumento de capacidade, ainda na fase de projeto, irá evitar que o equipamento seja “retrofitado” (modificado).

Lembrando que para o dimensionamento do equipamento da parte Mecânica, a vazão nominal é resultado da multiplicação do valor requerido pelo Processo e o fator de projeto (neste projeto 1,2), resultando numa capacidade de 9236,4 t/h.

O equipamento ficará subutilizado enquanto a capacidade nominal não for alcançada. Isso poderá acarretar em um aumento no consumo energético, gerado, principalmente, pelo incremento no peso das partes móveis. Além disso, o equipamento exigirá um investimento inicial maior e gasto com operação mais elevado durante o período de trabalho subutilizado.

A Mineradora informou que o tempo que o TCLD operará de forma subutilizada será em torno de 5 anos, e após este tempo, o transportador trabalhará com capacidade de 9236,4 t/h. Esta informação será utilizada na análise de investimentos mostrada no capítulo de Resultados e discussões.

A Tabela 4 apresenta, de forma simplificada, três cenários que foram utilizados na análise financeira deste estudo.

Tabela 4 – Simulações de cenários

Descrição	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
Capacidade do projeto [t/h]	5542,1	9236,4	5542,1
Largura [mm]	1400,0	1800,0	1800,0
Potência demandada [kW]	1.929,0	3.169,0	1919,0

No próximo capítulo será mostrado o resultado das potências dos transportadores deste estudo, levando em consideração os três cenários mostrados acima. O primeiro cenário considera o dimensionamento da correia com a vazão nominal de 5542,1 t/h, usando a tecnologia convencional e a *high speed*. O segundo cenário considera o dimensionamento da correia com a vazão nominal de 9236,4 t/h usando a tecnologia convencional e *high speed*. O terceiro cenário considera o dimensionamento da correia com a vazão nominal de 9236,4 t/h, no entanto transportando apenas 5542 t/h com a tecnologia convencional e *high speed*.

A Tabela 5 apresenta os cálculos de velocidade para diferentes larguras de correia (para o ângulo dos roletes de 45°).

Tabela 5 - Cálculo da Largura da Correia

Fator de Utilização (%)	Largura Correia (pol)	Capacidade do Transportador de Correia (t/h)	Velocidade (m/s)
80	48	5542,1	5,9
80	54	5542,1	4,6
80	60	5542,1	3,7
80	60	9236,4	6,2
80	72	5542,1	3,1
80	72	9236,4	4,2
80	84	5542,1	1,9
80	84	9236,4	3,1

O valor desejado de velocidade está em torno de 5 m/s, o qual já é considerado alta velocidade (podendo utilizar os benefícios dessa abordagem) e também mantém margem para uma possível expansão.

### Roletes

O dimensionamento dos roletes será realizado em duas etapas: determinação do diâmetro e espaçamento entre os roletes.

Tabela 6- Cálculo dos Diâmetros Roletes Considerando a Máxima Velocidade de dimensionamento

Correias	Diâmetro (pol)	Velocidade Máxima (rpm)
TCLD convencional	7"	496,0
TCLD <i>high speed</i>	7"	664,0

A CEMA recomenda, para essa largura de correia, espaçamentos de 1,0 metros para os roletes de carga e 3,0 metros para os roletes de retorno. Como já existem correias operando com espaçamento maior sem relatos de problemas técnicos operacionais, foram considerados valores maiores para os espaçamentos dos roletes, conforme a seguir:

- Roletes de Carga: 1,5 metros;
- Roletes de Retorno: 4,5 metros;

### Acionamento

Com base nas informações e premissas já citadas, é possível calcular a potência necessária ao acionamento durante o carregamento e descarregamento do transportador de correia. Os cálculos serão realizados separadamente para cada trecho para determinar o perfil de potências.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Dimensionamento

Neste item será mostrado o resultado para o dimensionamento do TCLD, considerando os cenários mostrados na Tabela 4.

### 3.1.1 - Gráficos das Potências

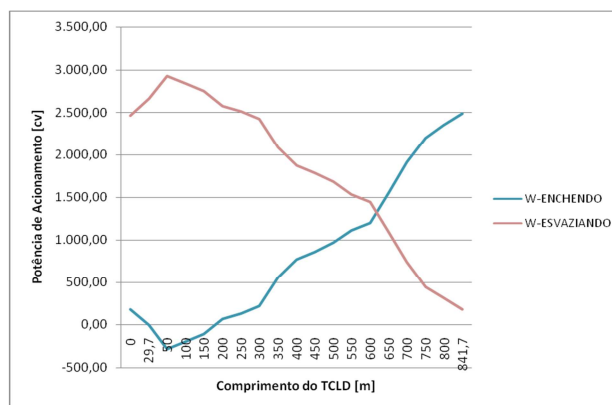


Figura 3 - Evolução da potência necessária para o acionamento durante o enchimento / esvaziamento da correia, considerando a tecnologia *high-speed* e vazão de 5542,1 t/h.

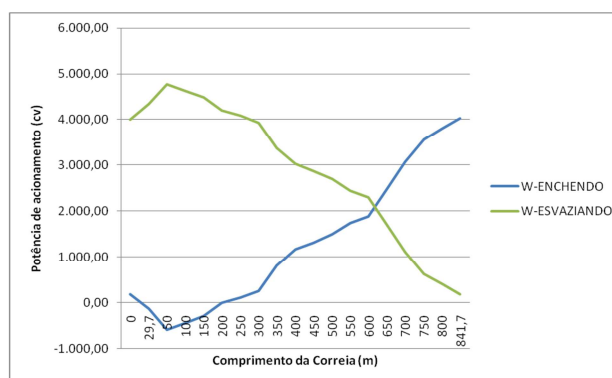


Figura 4 - Evolução da potência necessária para o acionamento durante o enchimento / esvaziamento do TCLD considerando capacidade de 9236,4 t/h

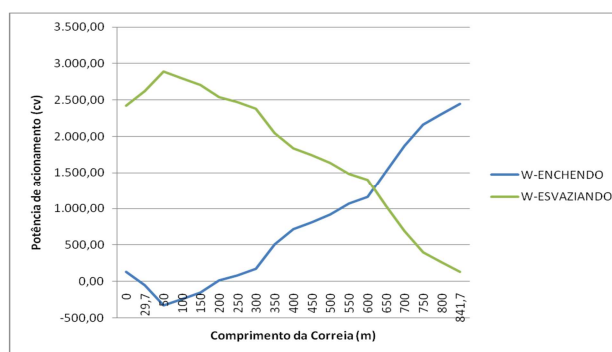


Figura 5 - Evolução da potência necessária para o acionamento durante o enchimento / esvaziamento da correia considerando capacidade dimensional de 9236,4 t/h, carregando vazão de 5542,1 t/h.

Nota-se que no início do transporte do material, a potência fica negativa, ou seja, não precisa fornecer energia à correia, o próprio peso do material impulsiona o TCLD. Nota-se também que o ponto de consumo da máxima potência do TCLD não ocorre quando ela está totalmente cheia, e sim quando a correia começa a esvaziar, com aproximadamente 50 metros vazia. Este é ponto é quando não existe nenhum material sobre a correia no ponto de descida da mesma. Toda a energia é usada para elevar o restante do material até o ponto de descarga.

Nota-se que a potência consumida pelo TCLD no terceiro cenário é menor do que a potência consumida pela TCLD *High-speed* do primeiro cenário. No entanto, o



Capex e Opex deste cenário são maiores. No próximo item será mostrado uma comparação financeira entre estes cenários.

### 3.2 Avaliação Econômico-Financeira

#### 3.2.1 - Metodologia

O primeiro cenário contempla a aquisição de um TCLD *High-Speed* para trabalhar durante 5 anos transportando minério a uma vazão de 5542,1 t/h. Após estes 5 anos, o TCLD será substituído por outro, com tecnologia convencional ou *High-Speed*, de maior tamanho, capaz de transportar 9236,4 t/h (Cenário 01 e 02 da Tabela 4).

O segundo cenário contempla a instalação desde o início da operação de um TCLD convencional capaz de transportar 9236,4 t/h, que trabalhará subutilizado durante os primeiros 5 anos de instalação (Cenário 02 e 03 da Tabela 4).

O terceiro cenário contempla a instalação desde o início da operação de um TCLD *High-Speed* capaz de transportar 9236,4 t/h, que trabalhará subutilizado durante os primeiros 5 anos de instalação (Cenário 02 e 03 da Tabela 4).

Foi utilizada a mesma base de informações para ambos os casos do TCLD: convencional e *High Speed*. Desta forma, garante-se a fidelidade da comparação das tecnologias.

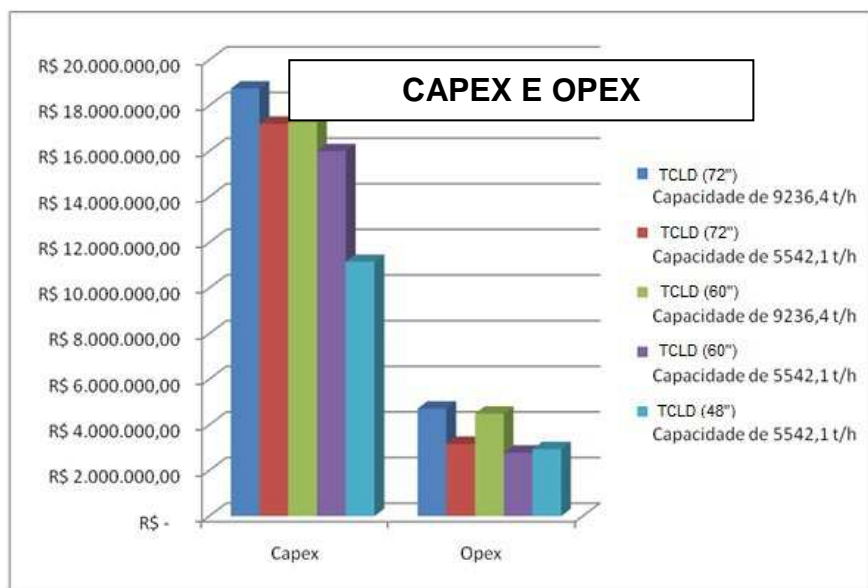


Figura 6 – Custos de manufatura e Custos operacionais dos TCLDs Convencional (72''), *High Speed* (60'') e *High Speed* (48'') (OPEX)

Tabela 7 – Análise de viabilidade financeira – Uso de TCLD de 48'' nos 5 primeiros anos de operação

Dados para Cálculo		Indicadores	
Taxa de desconto (%)	15%	VPL (R\$)	- 19.394,54
Investimento (R\$)	11.146.017,6	TIR	15%
Retorno Anual (R\$)	1.777.605,66	Payback (anos)	6,3
Vida Contábil (anos)	20	Payback descontado (anos)	20,2

Ao analisar a Tabela 7, verifica-se que o VPL é negativo, e que o investimento considerado somente se pagará em 6,3 anos (Payback). Portanto, conclui-se que o

investimento não é viável. Será mais vantajoso financeiramente a compra, já nesta fase, de um TCLD capaz de transportar 9236,4 t/h.

**Tabela 8 – Análise de viabilidade financeira – Uso de TCLD de 72” Convencional ou 60” High-Speed**

Dados para Cálculo		Indicadores	
Wacc (%)	15%	VPL (R\$)	2.702.994,47
Investimento (R\$)	-1.482.427,20	TIR	Não encontrado
Retorno Anual (R\$)	221.792,77	Payback (anos)	-6,7
Vida Contábil (anos)	20	Payback descontado (anos)	-5,0

Ao analisar a Tabela 8, verifica-se que o valor do VPL é positivo e o de Payback é negativo, o que prova que o investimento em tecnologia *high speed* se paga, antes mesmo da operação do equipamento. Portanto, do ponto de vista de análise financeira, a melhor tecnologia a ser implantada para o TCLD é tecnologia *high-speed*, largura de 60”.

#### 4 CONCLUSÃO

Uma avaliação financeira comparativa entre o transportador convencional, e o transportador de alta velocidade (*High Speed*) proposto pela Chemtech foi realizada, demonstrando que a abordagem *High Speed* se mostra mais econômica em termos de custos de implantação e operação (energia). Em termos percentuais, essa economia foi de cerca de 7% no CAPEX e 5% de OPEX por ano.

Pode-se concluir então que a adoção de uma maior velocidade da correia (de 4,2 m/s para 6,2 m/s) além de contribuir para a redução do investimento inicial do empreendimento, proporcionando um e menor consumo de energia (custo de operação).

Para uma maior economia de Capex e Opex neste tipo de transportador de correia, deverá ser exigida a análise dinâmica de seu projeto antes de sua fabricação. Deverá também ser executada a verificação geométrica do chute de transferência através de metodologia DEM (*Discrete Element Modeling*) que simulará o comportamento do fluxo de material no chute adequando-o ao menor atrito de passagem e conseqüentemente maior durabilidade das chapas de desgaste.

Lembrando que esta conclusão é válida para apenas este TCLD deste estudo de caso, podendo ter resultados diferentes para outros TCLDs.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 AHRENS, M.; SOUTHBY, S.; “Cutting edge, energy efficient conveyor systems”. Conveyors, scrapers, ancillaries, ABB Australia, Março/Abril 2010.
- 2 BROADFOOT, A.R.; BETZ, R.E.; “New Control Strategies for longwall armoredface conveyors”. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 34, Nº 2, Março/Abril 1998.
- 3 CLÉNET, D.; “Optimising energy efficiency of conveyors”. Schneider Electric White Paper, Janeiro 2010.
- 4 NORDELL, L.K. “The Power of Rubber – Part I”. Bulk Solids Handling Vol. 16 (1996) No. 3. pp 333 -340.