UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MESTRADO ENGENHARIA MECANICA

JOAO PAULO MARAIA

EFEITOS DA ALTERAÇÃO DO CICLO OPERACIONAL E DO ARRANJO FÍSICO NO MANUSEIO DE CARVÃO. UM ESTUDO DE CASO

SANTOS/SP

2018

JOAO PAULO MARAIA

EFEITOS DA ALTERAÇÃO DO CICLO OPERACIONAL E DO ARRANJO FÍSICO NO MANUSEIO DE CARVÃO. UM ESTUDO DE CASO

Dissertação apresentada à Universidade Santa Cecília como parte dos requisitos para obtenção de título de mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Aldo Ramos Santos e Prof. Dr. Áureo Emanuel Pasqualeto Figueiredo.

SANTOS/SP

2018

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

Maraia, João Paulo
Efeitos da alteração do ciclo operacional e do
arranjo físico no manuseio de carvão. Um estudo de caso
João Paulo Maraia 2018
63 p.
Orientadores: Prof. Dr. Aldo Ramos Santos.
Coorientador: Prof. Dr. Áureo Emanuel Pasqualeto Figueiredo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos,
SP, 2018
Ciclo Produtivo, Arranjo Físico, Eficiência Operacional

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha mãe Elisa, à minha esposa Ivana e à minha filha Ana Paula.
À minha mãe pela ausência do meu convívio. À esposa e à filha por fazerem parte da minha vida com amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Aos professores e funcionários do Programa de Pós – Graduação da UNISANTA, pelos momentos e ensinamentos proporcionados, em especial à Sandra Helena Aparecida de Araújo e à Imaculada Scorza, pela atenção que sempre dedicaram, nas informações e orientações durante o curso.

Aos amigos parceiros profissionais, Engenheiro Cizenando Edward do Nascimento e Geso Candido de Souza, que contribuíram significativamente no conteúdo deste trabalho.

Ao representante, João Carlos G. Oliveira consultor técnico da empresa Ultra Hi Plásticos Industriais Ltda.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Áureo Emanuel Pasqualeto Figueiredo e Prof. Dr. Aldo Ramos Santos, pela paciência e dedicação em nortear meu trabalho.

Ao Prof. Dr. Marco Tadeu Tavares Pacheco, motivando a mudança do tema, transformando este desafio em uma interessante oportunidade para o meu desenvolvimento e não poderia deixar de manifestar minha gratidão também pelo incentivo e envio do meu artigo ao Prof. Dr. Felipe Bertelli.

Ao Engenheiro Júlio Cesar Folhadella, responsável pelo primeiro *“input*” motivacional para ingressar nesta jornada.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Rubens Carneiro Ulbanere, por toda energia que recebi, e que foi responsável em não me fazer desistir nos momentos difíceis que passei motivado por problemas de saúde; devo a ele o meu retorno e a retomada deste trabalho.

Aos colegas, técnicos inspetores da Usiminas Cubatão, área da Redução Marcelo, Alexandre, Idimir, Marcos, Felipe, Neves, Luiz Carlos, Honório, Deginal, Anderson, Eng. Maranha, Paiva e Eng. Paulo Roberto Torres Matta.

Por fim, neste momento especial quero agradecer ao meu bom Deus na mensagem que minha mãe Elisa, me ensinou “O mio Signore io ti ringrazio in ogni cose che ho avuto da te. Grazie per tutto quello che tu hai fato per me”.

RESUMO

A capacidade de um processo é atribuída ao equipamento que apresenta maior restrição, ele será o gargalo de todo o sistema, determinando sua capacidade operacional. Identificar o gargalo, analisar a causa e tomar medidas para elevar essa restrição, dará maior eficiência ao processo. Neste estudo de caso, foram analisados os gargalos de produção nas áreas de recuperação e envio de mistura de carvão. A pesquisa foi realizada em uma siderúrgica, de processo integrado, com o desenvolvimento e aplicação de material no revestimento em silo de armazenagem e no rearranjo físico em um sistema de transportadores de correia. Os principais resultados mostraram que a recuperação da capacidade de estocagem dos silos de dosagem, e a mudança radical do arranjo físico do transporte de carvão para as baterias de coque, permitiram alcançar resultados significativos na redução do consumo de energia em 30,8% (615kWh para 425 kWh). Houve aumento na capacidade no envio de mistura para as baterias de coque em 18% (100 t/h), redução do efetivo de manutenção em 54% (600 H/h mês) e o aumento da tonelagem horária de descarga de navios evitando sobrestadia e multas contratuais.

Palavras-chave: Ciclo Produtivo, Arranjo Físico, Eficiência Operacional.

.

ABSTRACT

The capacity of a process is attributed to the equipment that presents the greatest restriction, it will be the bottleneck of the whole system, determining its operational capacity. Identifying the bottleneck, analyzing the cause, and taking action to raise this constraint will make the process more efficient. In this case study, the production bottlenecks in the areas of recovery and shipment of coal mixture were analyzed. The research was fulfilled in an integrated process steel, with the development and application of material in the storage silo coating and the rearrangement of the system of belt conveyors. The main results show that the recovery of the storage capacity of the dosing silos and the radical change of the coal transport physical arrangement to the coke batteries 1 and 2 allowed us to achieve significant results in the reduction of energy consumption in 30.8 % (615kWh to 425kWh). There was an increase in the capacity of 18% (100 t / hour) in the shipment of the mixture to the coke batteries, reduction of the maintenance force by 54% (600 h / hr) and an increase in the tonnage of unloading of ships, and contractual fines.

Key words: Productive Cycle, Physical arrangement; Operational Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estratificação do custo de produção do ferro gusa da CST 16
Figura 2: Fluxo de carvão mineral em usina siderúrgica a coque 17
Figura 3: Componentes de um transportador contínuo 22
Figura 4: Correia transportadora e suas camadas 24
Figura 5: Tambores de acionamento com revestimento 24
Figura 6: Roletes aplicados a correias transportadoras 25
Figura 7: Chute de alimentação 26
Figura 8: Chute de descarga 26
Figura 9: Conjunto de acionamento 27
Figura 10: Raspador de correia 28
Figura 11: *Stacker Reclaimer* 29
Figura 12: Silo de carvão 30
Figura 13: Notação dos parâmetros das pressões de um silo 30
Figura 14: Pressões do silo nos ciclos de operação 31
Figura 15: Tipos básicos de fluxos de silos 32
Figura 16: Recebimento e beneficiamento de carvão em uma siderúrgica 34
Figura 17: Fluxo de carvão nos silos de mistura 35
Figura 18: Parede oxidada do silo de carvão 36
Figura 19: Macro cronograma de revestimento de silo 39
Figura 20: Fixação dos painéis de polietileno 41
Figura 21: Sistema de fixação *Weld Washer* 41
Figura 22: Acabamento com plugues de polietileno no silo 8 42
Figura 23: Sistema de abastecimento de mistura para baterias de coque 43
Figura 24: Chute de correia transportadora 44
Figura 25: Capacidade média de estocagem do silo 45
Figura 26: Tempo de abastecimento do silo de dosagem 46
Figura 27: *Rede Pert* abastecimento dos silos de mistura (Silos não revestidos) 47
Figura 28: *Rede Pert* abastecimento dos silos de mistura (silos revestidos) 47
Figura 29: Evolução da prancha de descarga de carvão 48
Figura 30: Novo arranjo físico sistema de abastecimento de mistura 48
Figura 31: Consumo em KWh arranjo físico anterior 49
Figura 32: Consumo em KWh novo arranjo físico 50
Figura 33: Novo projeto de cobertura da transportadora CT16 A 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Característica do manuseio de carvão de uma siderúrgica 35
Tabela 2: Propriedades físicas do UHMW 38
Tabela 3: Expansão UHMV $> 20\,° C$ 42
Tabela 4: Contração UHMW $< 20° C$ 43
Tabela 5: Lista de atividades suprimento dos silos de mistura (não revestidos) 46
Tabela 6: Lista de atividades suprimento dos silos de mistura (revestidos). 47
Tabela 7: Resultados com o novo arranjo físico 49
Tabela 8: Redução de componentes dos transportadores 51
Tabela 9: Apresentação dos elementos da taxa de retorno 52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CST	Companhia Siderúrgica de Tubarão
CT	Correia transportadora
CPM	*Critical Path Method*
NBR.	Norma Brasileira
PERT	*Program Evaluation and Review Technique*
PLC	*Programmable Logic Controller*
SAE	*Society of Automotive Engineers*
TIR	*Internal Rate of Return*
UBE	*Ube Maxhinwey Corporation*
UHMW	*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
1.1 Objetivo 14
1.2 Justificativa e Relevância do Tema 14
1.2.1 Sistema de abastecimento dos silos de dosagem 14
1.2.2 Sistema de envio da mistura para as baterias de coque 15
1.3 Organização da Dissertação 15
1.4 Fundamentação Teórica 16
1.4.1 Carvão 16
1.4.2 Arranjo físico 18
1.4.3 Gargalos de produção 19
1.4.4 Sistema de transporte por correia 21
1.4.4.1 Estruturas 23
1.4.4.2 Correias 23
1.4.4.3 Tambores 24
1.4.4.4 Roletes 24
1.4.4.5 Chute de alimentação 25
1.4.4.6 Chute de descarga 26
1.4.4.7 Conjunto de acionamento 27
1.4.4.8 Raspadores de Correia 28
1.4.5 Máquinas *Stackers Reclaimers* 28
1.4.6 Silos de Armazenagem 29
2. MATERIAIS E MÉTODOS 34
2.1 Sistema de abastecimento dos silos de dosagem 35
2.2 Sistema de envio da mistura para as baterias de coque 43
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 45
3.1 Limitação de estocagem no abastecimento dos silos de dosagem 45
3.2 Redução de perdas, no envio de mistura para as baterias de coque 48
3.3 Viabilidade econômica dos projetos 51
4. CONCLUSÕES 53
5. VERSÃO COMPACTA 55
6. REFERÊNCIAS 61

1. INTRODUÇÃO

Vários fatores são observados no sistema produtivo de uma empresa que implicam no desenvolvimento dos processos de transformação. Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), a produção envolve um conjunto de recursos de *input* (entradas) usado para transformar algo ou para se transformar em *outputs* (saídas) de bens e serviços. Identificar os componentes que limitam o desempenho, gargalos de produção, simplificam as tarefas de desenvolver, testar e implementar outras ações. Melhorar a produtividade de uma empresa é um dos objetivos constantes dos profissionais envolvidos em sua administração. Contudo, não raras vezes a melhora da produtividade depende não de uma maior eficiência global da atividade da empresa, e sim da identificação de problemas em seu processo produtivo: que são esses gargalos de produção (LANGLEY,2011).

Estudos de reestruturação dos processos nas empresas são implantados, para que elas possam obter um diferencial competitivo. As organizações estão inseridas em ambientes extremamente dinâmicos exigindo o aperfeiçoamento contínuo de práticas de gestão. A competitividade das empresas exige dos profissionais um constante aprimoramento nos processos produtivos, utilizando ferramentas de integração que proporcionem desempenho mais eficaz, e a seleção de arranjo físico é uma delas (CARLO, 2013). O arranjo físico das instalações faz parte integrante do processo de transformação, podendo impactar de forma relevante os custos e a minimização das distancias para melhorar a eficiência operacional, (SILVA et al., 2012). Outros estudos mencionam que redesenhar um arranjo físico, possibilita reduzir a distância do abastecimento em até 20 Km/mês simplesmente realocando o chão de fábrica de forma diferente, (HORTA, 2016).

Outra forma de estudo seria a de realizar simulações, a partir de ideias, buscando o desenho mais eficaz, (KIM, 2016).

O armazenamento e movimentação de materiais e produtos segundo Langui (2001), influenciaram diretamente a estrutura de custo de uma empresa. Dar mais eficiência ao sistema de movimentação de matéria prima, reduzindo percursos e buscando otimizar com um bom arranjo físico, é um fator importante para redução dos custos de um processo produtivo (TAMASAUWKAS, 2000).

Toda otimização no tempo de movimentação dos materiais dentro de um processo acelera o retorno financeiro (LANGUI,2001).

Nas áreas de siderurgia e mineração, a necessidade crescente de demanda acaba exigindo dos processos, melhorias nos sistemas de movimentação e transporte de insumos, um bom projeto nestes equipamentos proporciona inúmeras vantagens; bom rendimento, redução de mão de obra para manutenção e operação (MORAN 2016).

A capacidade de atuar na reestruturação do arranjo físico de uma instalação para necessidade futuras ou otimizar recursos, tem um impacto direto na produtividade dos processos, podendo ser utilizado na diminuição dos desperdícios de tempo, gerando redução de custos, (KAMARUDDIN et al., 2013).

A utilização de correias transportadoras na mineração e siderurgia, tem sido a solução adequada em termos econômicos e de segurança operacional, (ZHANG e XIA, 2011; FERDORKO et al., 2012; ANDRIANOV e HORSSEN, 2008). Planejar o arranjo físico nestas instalações, significa tomar decisões sobre a forma de como serão dispostos os equipamentos, com foco em tornar mais fácil e suave o movimento do trabalho e do fluxo de pessoas e materiais (MOREIRA, 2018).

Dos custos totais de fabricação, 20% a 50% estão relacionados com o manuseio de materiais. Estima-se que mais de 250 bilhões de dólares são gastos anualmente nos Estados Unidos para replanejamento de instalações dentro das empresas, (SINGH e YILMA, 2013).

Outro obstáculo que a indústria tem enfrentado é a não utilização da capacidade máxima de suas instalações, em função da deficiência no armazenamento e movimentação de materiais e produtos influenciando diretamente a estrutura de custo de uma empresa, (LANGUI, 2001). Operar os equipamentos na sua capacidade de projeto, permitirá um melhor balanceamento da linha mantendo o nivelamento da carga de trabalho ao longo do fluxo de valor, empregando eficientemente os recursos produtivos (HAZIR & DOLQUI, 2014). A eficiência de um sistema é avaliada levando-se em conta quanto tempo livre, ocioso, ela gera, podendo reduzir o ciclo operacional dos equipamentos, (SIVASANKARAN e SHAHABUDEEN, 2014).

1.1 Objetivo

Identificar os gargalos de produção, no sistema de abastecimento dos silos de dosagem e no sistema de envio de mistura de carvão para as baterias de coque em uma siderúrgica, apresentando as ações e resultados obtidos.

1.2 Justificativa e relevância do tema

Em um ambiente industrial onde toneladas de material estão sendo descarregadas de diferentes recipientes, movimentados ao longo de sistemas de correias transportadoras e canalizadas através de calhas e silos, coordenar essas peças móveis com precisão para poder mover o produto com eficiência é um desafio a ser superado. Uma indústria siderúrgica tem nos equipamentos de processos elevados custos de operação e manutenção. Para melhorar a eficiência desses equipamentos, é necessário identificar os componentes que limitam seu desempenho. O estudo identifica esses gargalos de produção, no sistema de abastecimento de carvão nos silos de dosagem e o envio de mistura para as baterias de coque.

1.2.1 Sistema de abastecimento dos silos de dosagem

Os carvões são recebidos por modal marítimo e estocados nos pátios de recebimento por meio de correias transportadoras e máquinas de estocagem e recuperação (*Stackers Reclaimers*). A baixa capacidade na estocagem de carvão, nos silos de dosagem, aumentava o ciclo, necessário para seu ressuprimento, com maior disponibilidade dos *Stackers Reclaimers* para essa operação. Nessas condições, a disponibilidade de máquinas para operação de descarga e estocagem de carvão no porto era prejudicada com constantes paradas, comprometendo a tonelagem horária contratual, com custos elevados de multa por sobrestadia (penalidade aplicada pelo atraso no carregamento ou descarregamento de uma embarcação). A incidência de retrabalho era significativa, gerando mais custos operacionais, baixa produtividade e redução nos indicadores de desempenho. A

necessidade de intervir, para melhorar a desempenho do sistema, é que motivou a realização desta pesquisa.

1.2.2 Sistema de envio da mistura para as baterias de coque

O sistema operava com baixa performance, em função de constantes paradas operacionais por obstruções nas correias transportadoras, ocasionadas pelos entupimentos nas áreas de transferência de material (chutes), comprometia o abastecimento de mistura de carvão para as baterias de coque. O arranjo físico apresentava dois transportadores de correia abaixo do nível do solo, dificultando o acesso e nos períodos chuvosos, sobrecarregava o sistema de drenagem, acumulando água nos equipamentos, paralisando a operação. O retorno da linha exigia intervenções de operação e manutenção.

1.3 Organização da dissertação

Este documento está disposto em três seções:

a) Na primeira parte faz-se uma apresentação inicial e destacam-se os elementos de revisão bibliográfica, os quais evidenciam a importância do manuseio de carvão em uma usina integrada, os resultados produtivos econômicos da empresa, principais equipamentos envolvidos e das diversas partes constituintes, transportadores e maquinas de recuperação e estocagem.

b) Na segunda parte são identificados os gargalos existentes no abastecimento dos silos de dosagem e no envio da mistura para as baterias de coque e suas implicações nos resultados.

c) Na terceira parte os resultados e discussão com propostas para o desenvolvimento de outros trabalhos.

1.4 Fundamentação Teórica

1.4.1 Carvão

No processo siderúrgico, as matérias primas são fundamentais para o processo. Na siderúrgica nacional, o carvão coqueificável é importado e responsável por uma parcela significativa nos custos de produção do aço, como pode ser observado na Figura 1.

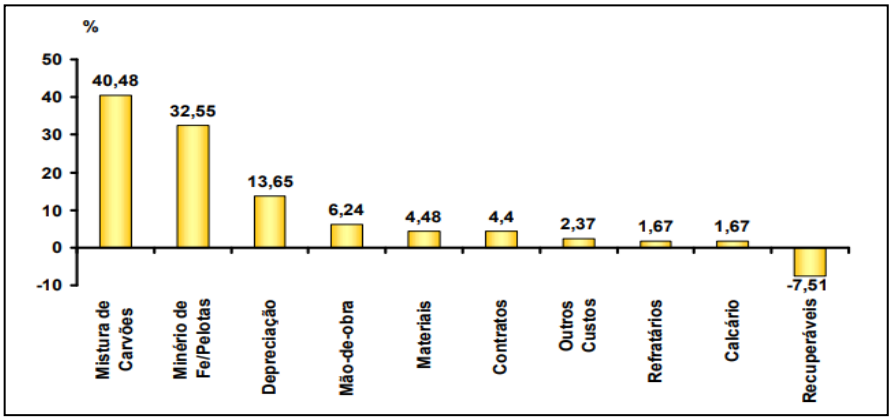


Figura 1: Estratificação dos custos de produção do ferro gusa da CST
Fonte: Coelho, Silva, Alves, Andrade, & Assis, (2004)

O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1500º C), necessárias à fusão do minério. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com alta temperatura, deixando livre o ferro; a este processo de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução e ocorre dentro dos altos fornos.

Antes de ser levado ao alto forno, o carvão é previamente preparado e enviado às baterias de coque, para ser destilado. O processo aquece a mistura de carvão acima da temperatura de decomposição, se solidifica e um material de alta resistência mecânica e ao mesmo tempo poroso que é o coque, desta destilação são gerados subprodutos carboquímicas.

Segundo Yazaki (1991), em usinas siderúrgicas integradas a coque, o carvão mineral tem papel fundamental, pois é matéria-prima para a produção de coque, a partir de misturas de carvões com características bem distintas. Tais misturas podem ser feitas com diferentes proporções de carvões, o que se objetiva é, ao mínimo custo, produzir um coque de qualidade.

As etapas de preparação do carvão podem ser resumidas em 3 fases:

a) Recebimento e estocagem dos carvões;

b) Recuperação;

c) Mistura.

O transporte de carvões para suprir a demanda das usinas siderúrgicas é função da quantidade, peso e valor do referido carvão. Como a demanda por carvão se dá em grande volume, o seu transporte é feito preferencialmente por modais marítimos (ULHÔA, 2005).

Após o recebimento e descarga, os carvões são conduzidos por meio de correias transportadoras aos pátios de estocagem, onde são empilhados (Figura 2), permanecendo, disponíveis para a recuperação, que é o desempilhamento para formação da mistura (YAZAKI,1991).

A recuperação das pilhas é feita pelos mesmos equipamentos que os empilharam, os *Stacker Reclaimer* direcionados para os silos de dosagem para composição da mistura.

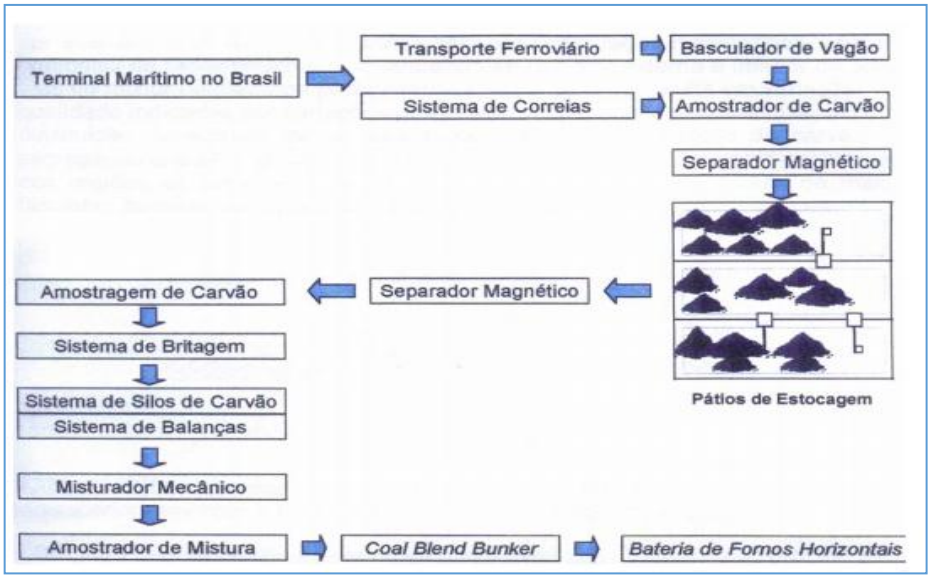


Figura 2: Fluxo do carvão mineral em usina siderúrgica a coque
Fonte: Ulhôa (2005)

1.4.2 Arranjo Físico

O leiaute industrial ou arranjo físico, permite estudos para otimizar os processos de produção, melhorando a eficiência dos sistemas. Na maioria das indústrias, o fluxo de deslocamento de materiais é elevado. Tentar melhorar o transporte, através de empilhadeiras, calhas de recebimento, não agrega valor ao produto final. O ideal para otimizar o transporte em um processo industrial, é reduzir os equipamentos de movimentação, aumentando a eficiência da produção e reduzindo custo (SHINGO,1996).

Seguem-se objetivos que podem ser considerados no caso de instalações industriais (MECKLENBURG, 1985).

a) Minimizar o custo de manipulação ou manobra de materiais;
b) O tempo e sua frequência;
c) Minimizar o capital e custo de operação do equipamento e da planta;
d) Minimizar o tempo global de produção;
e) Maximizar o uso de espaço em termos efetivos e econômicos;
f) Facilitar a operação do processo de produção e do fluxo;
g) Proporcionar conforto e segurança.

Planejar o arranjo físico de uma instalação, conforme Moreira (2018), significa tomar decisões sobre a forma de como serão dispostas essas instalações, os centros de trabalho, preocupação básica e tornar mais fácil e suave o movimento do trabalho através do sistema, pessoas, materiais e equipamentos. Os princípios que tornam importante as decisões do arranjo físico são:

a) A mudança pode implicar em dispêndio de consideráveis somas em dinheiro;

b) Afetam a capacidade de produção da instalação e a produtividade operacional. Uma mudança adequada no arranjo físico, aumenta a produção que se processa dentro da instalação usando o mesmo recurso que antes, exatamente pela racionalização no fluxo de pessoas, materiais e equipamentos;

c) Podem representar elevados custos e ou dificuldades técnicas para futuras reversões.

Para Toledo (2007), o planejamento de arranjo físico é recomendável a qualquer empresa, grande ou pequena, pois com um bom arranjo físico, obtêm-se resultados surpreendentes na redução de custos de operações, no aumento da produtividade e eficiência da organização.

A definição do espaço de trabalho tem como objetivo a obtenção de um arranjo espacial, que tenha o melhor desempenho, conjunto das características de custo, flexibilidade, segurança, condições de trabalho, condições de controle e qualidade para o processo produtivo (CAMAROTTO, 2006).

A técnica de administração com foco no arranjo físico, tem por objetivo criar a interface homem-máquina para aumentar a eficiência do sistema de produção (JONES e GEORGE, 2008).

Um fluxo bem estudado permite o rápido deslocamento do produto pelo sistema produtivo, consequentemente menos tempo é perdido em cada recurso, reduzindo o *lead time* (ciclo) do processo (PARANHOS FILHO, 2007).

A influência do projeto de arranjo físico das instalações industriais sobre a produtividade do trabalho, os custos de fabricação e o *lead-time*, é destacado por diversos autores, como (YANG; SU; HSU, 2000; WATANAPA; WIYANAPA; WIYARATN, 2011; SHAHIN; POORMOSTAFA, 2011; SANTOS; GOHR; URIO, 2011; SHEWALE; SHETE; SANE, 2012).

Um trabalho de reestruturação no arranjo físico de uma instalação pode contribuir de forma significativa, para a redução dos custos operacionais das instalações de aproximadamente 50%, conforme destacam Xie e Sahinidis (2008).

O arranjo físico de uma instalação irá estabelecer a relação que permita obter a disposição mais eficiente dos equipamentos, porém em uma grande indústria, este procedimento não permite erros que podem levar a sérios problemas na utilização dos locais, causando prejuízos significativos, no rearranjo. O estudo detalhado, da engenharia permitirá elaborar um projeto seguro e adequado a instalação (MUTHER, 1978).

1.4.3 Gargalos de produção

Segundo Seleme (2009), em muitas indústrias, os equipamentos são os gargalos de produção. Esses equipamentos possuem uma metodologia de trabalho proposta pelo seu fabricante. Algumas dessas ferramentas podem desempenhar diversas funções, combinadas ou não. Sobre gargalo, Paranhos (2007), afirma que a capacidade do sistema será dada pelo equipamento que oferecer menor desempenho.

O termo gargalo também conhecido pelo termo em inglês *"bottleneck"*, significando, literalmente, a seção menor da garrafa, é uma restrição ao processo como um todo, definindo a capacidade do sistema.

As empresas trabalham em busca dos equipamentos de última geração e se frustram por não se atentarem para os seus gargalos no sistema, causadores das suas restrições; esses pontos determinaram o ritmo com que o sistema de produção irá trabalhar (PARANHOS FILHO, 2007).

A definição do conceito de gargalo, de acordo com Goldratt (2006), é a forma como analisar um sistema produtivo, observá-lo através da analogia da corrente, a sua resistência será idêntica à do elo mais fraco da mesma, sendo necessário seguir alguns passos para posicionar-se corretamente em relação às restrições do sistema:

a) Identificar o gargalo;
b) Explorar a restrição contida no sistema;
c) Submeter tudo à determinação obtida no segundo passo;
d) Buscar as alternativas para elevar a capacidade da restrição.

Para Maroueli (2008), o gargalo tem vários pontos dentro de um sistema produtivo que limitam a disposição final da produção considerada o maior ponto de ociosidade próximo ao *input. Os* demais processos serão afetados, quanto mais próximos estiverem ao *output,* mais prejudicial será. Isso ocorre porque, dentro do sistema produtivo, tem-se a agregação dos custos variáveis. Outro conceito de gargalo (COX III e SPENCER, 2002), é a operação realizada e um dado equipamento ou sistema que apresenta à menor capacidade de produção líquida de bens, restringindo desta maneira a produção de toda a linha. Se existem diversas operações em sequência, com tempos de ciclo diferentes, aquela ou aquelas operações (pode existir mais de um gargalo e uma linha ou sistema produtivo) de

maior ciclo limitam a capacidade produtiva e, deste modo, geram ociosidade de capacidade nas demais operações.

Para Goldratt e Fox (1992), os gargalos representam restrições à saída (*output*) do sistema de produção. É importante identificá-los com estudo de engenharia, viabilizando ações no sentido de eliminar suas causas.

Segundo Pessoa e Cabral (2005), o gargalo é a obstrução no sistema produtivo que delimita e comanda o seu desempenho e seu volume para obter um ganho maior. O gargalo é a etapa que impossibilita a sistema em atender efetivamente a demanda de seus equipamentos. Em contrapartida, é essencial que tenha o cuidado para que não ocorra um elevado número de etapas não – gargalos, porque os mesmos acarretam em investimentos ociosos, influenciando em um desempenho negativo para a organização. Completar a capacidade de produção da operação, o gargalo acarreta em decisões estratégicas possibilitando um ganho elevado sobre os investimentos, que possam eliminar essas restrições.

1.4.4 Sistema de transporte por correias

Segundo Morrison (2007), sistemas de transporte de correias de materiais oferecem potencial para transporte que movimentam grandes volumes de material.

Os transportadores caracterizam-se por movimentar produtos sólidos, como carvão, minérios brutos e concentrados secos, atingindo pontos definidos, transportando sempre de um local “A“ para outro “B”. Por ocuparem espaço, não podem ser posicionados em locais onde interfiram no fluxo de outras atividades (ROCHA, 1996).

Segundo a Norma Técnica Brasileira – NBR 6177 (1999), define o transportador de correia ou abreviadamente “CT” como um arranjo de componentes mecânicos, elétricos e estruturas metálicas, consistindo em um dispositivo horizontal ou inclinado (ascendente ou descendente) ou em curvas (côncavas ou convexas). Trata-se de uma combinação de quaisquer destes perfis, destinado a movimentar ou transportar materiais a granel, através de uma correia continua com movimento reversível ou não, que se desloca sobre os tambores, roletes e ou mesas de deslizamento, segundo trajetórias predeterminadas pelas condições de projeto, possuindo partes ou regiões características de carregamento e descarga.

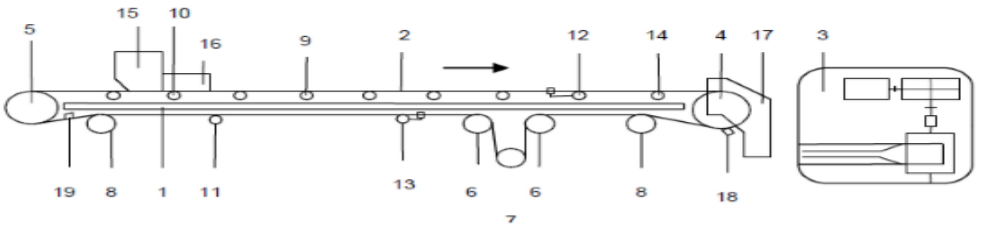
O transporte com correias é dominante em economia e segurança na movimentação de materiais, além de oferecer confiabilidade e versatilidade (ZHANG e XIA, 2011; FERDORKO et al.,2013; ADRIANOV E HORSSEN,2008).

Os transportadores de correia proporcionam um fluxo contínuo de material; basicamente o equipamento é formado por uma correia sem fim, com dois tambores nas extremidades, um de acionamento e outro de retorno. Dependendo do tamanho, poderão ser adicionados tambores de desvio e contra peso, para manter a correia tensionada, roletes justapostos, sobre os quais a correia se apoia, permitindo o seu deslizamento com baixo atrito, possibilitando a movimentação de cargas pesadas (FERDOKO e IVANCO, 2012).

O transportador é um conjunto de componentes eletromecânicos, vinculado entre duas polias com o objetivo de transferir força, e possui a função básica de sustentar os materiais transportados (CARVALHO, 2009).

A utilização de correias transportadoras na mineração e siderurgia tem sido a solução adequada no transporte de graneis sólidos com elevada margem de segurança operacional, sendo raros os registros de acidentes (BRANDT, 2010).

Vários elementos compõem um transportador contínuo, devendo todos ser devidamente analisados para um funcionamento adequado do sistema. Os principais componentes podem ser ilustrados de forma esquemática, conforme a Figura 3 (SACRAMENTO, 2010).



1. Estrutura;
2. Correia transportadora;
3. Conjunto de acionamento;
4. Tambor de acionamento;
5. Tambor de retorno;
6. Tambor de desvio;
7. Tambor de estiramento;
8. Tambor de encosto;
9. Rolete de carga;
10. Rolete de impacto;
11. Rolete de retorno;
12. Rolete auto alinhante descarga;
13. Rolete auto alinhante de retorno;
14. Rolete de transição;
15. Chute de alimentação;
16. Guias laterais;
17. Chute de descarga;
18. Raspador;
19. Limpador.

Figura 3: Componentes de um transportador contínuo
Fonte: Sacramento (2010)

1.4.4.1 Estrutura

Envolve todas as partes que compõem o transportador e tem função de sustentação, como apoio, torres, suporte, treliças. Trata-se do maior elemento mecânico, por fixar todos os demais elementos do transportador. Proporciona acesso ao longo do transportador para operação e manutenção de componentes (SACRAMENTO, 2010).

1.4.4.2 Correia

Principal componente do transportador, responsável pelo transporte do material, representa entre 30% a 40% na parcela do preço de um transportador. A correia transportadora tem como objetivo sustentar o material a ser transportado, sendo que ser tracionada por um sistema de esticamento, e tracionada pelos acionamentos. A correia é constituída basicamente de duas partes, carcaça e coberturas. O objetivo das coberturas é proteger a carcaça contra avarias e outros fatores deteriorantes que podem estar no ambiente operacional. A carcaça suporta as tensões atuantes na partida e movimentação da correia carregada, absorve a energia dos impactos do material durante sua movimentação, fornecendo

estabilidade necessária para o alinhamento adequado e suportar o próprio peso da carga transportada (MERCÚRIO, 2015).

O material mais utilizado nos tecidos integrantes das carcaças são as fibras têxteis, materiais sintéticos como poliéster, nylon ou aramida, porém elas também podem ser construídas por cabos de aço ou a composição com dois destes materiais em sua estrutura. As coberturas superiores e inferiores das correias protegem a carcaça contra abrasão e efeitos dos materiais a serem transportados (MERCÚRIO, 2015). Na figura 4 é apresentado o modelo de correia transportadora e suas camadas.

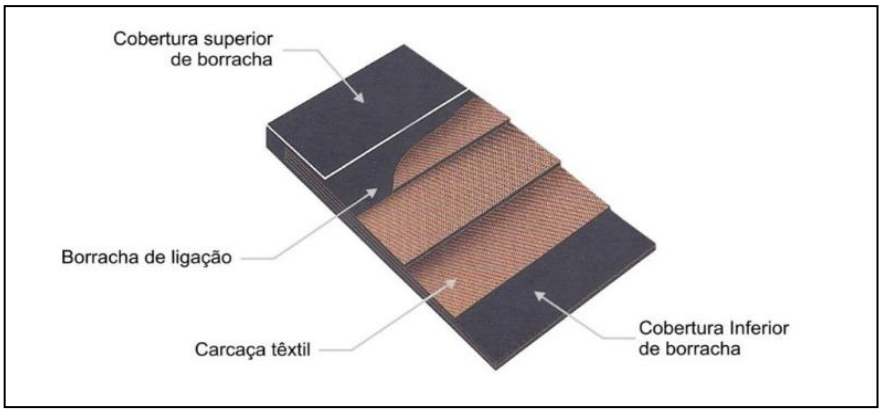


Figura 4: Correia transportadora e suas camadas
Fonte: Correias Multibelt (2018)

1.4.4.3 Tambores

Os tambores de acionamento e movidos, são responsáveis pela transmissão de potência no sistema, alinhamento e esticamento das correias transportadoras. O tambor motriz, acionado por um sistema de motorização, impulsionando a correia que movimenta os tambores movidos. Tambor motriz e movido conforme a Figura 5 (SACRAMENTO, 2010).

Figura 5: Tambores de acionamento e movidos, com revestimento
Fonte: Padronização de tambores Valfre J. (2010)

1.4.4.4 Roletes

Componente em forma de cilindros apoiados em suportes, instalados ao longo de toda correia na parte superior (roletes de carga), e na parte inferior (roletes de retorno). Estes rolos podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guiá-la na direção de trabalho (GAVI, 2009). Na Figura 6, um conjunto de roletes triplo de apoio superior da correia.

Figura 6: Roletes aplicados a correias transportadoras
Fonte: Padronização de tambores Valfre J. (2010)

1.4.4.5 Chute de alimentação

Fazem parte dos transportadores de correias os equipamentos denominados chutes ou desviadores de fluxo, que constituem uma parte importante do sistema de transporte. Os chutes são responsáveis pela transferência do material entre as correias transportadoras, direcionando a queda e distribuição do material de forma

adequada, impedido perdas de material no transporte (WILLS & NAPIER-MUNN, 2006).

O chute minimiza a degradação do material a ser movimentado, suavizando sua queda, permitindo que flua suavemente no transportador seguinte, evitando acúmulos nesta passagem. Seu revestimento deverá ser determinado de acordo com o material a ser transportado evitando desgaste, acumulo de material e entupimentos. São pontos que exigem inspeção e manutenção periódica (GAVI, 2009). Na Figura 7 a representação de um chute de correia.

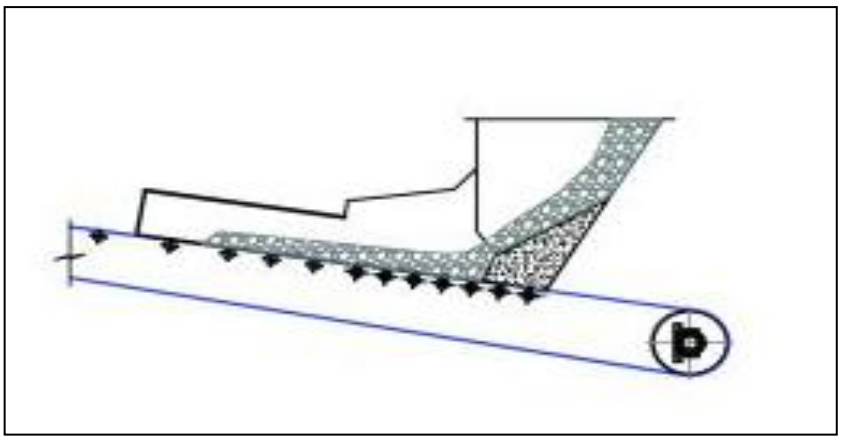


Figura 7: Chute de alimentação
Fonte: Eletrobrás (2009)

1.4.4.6 Chute de descarga

Na região do tambor de acionamento, o chute de descarga, transfere o material para outro transportador, conforme a Figura 8.

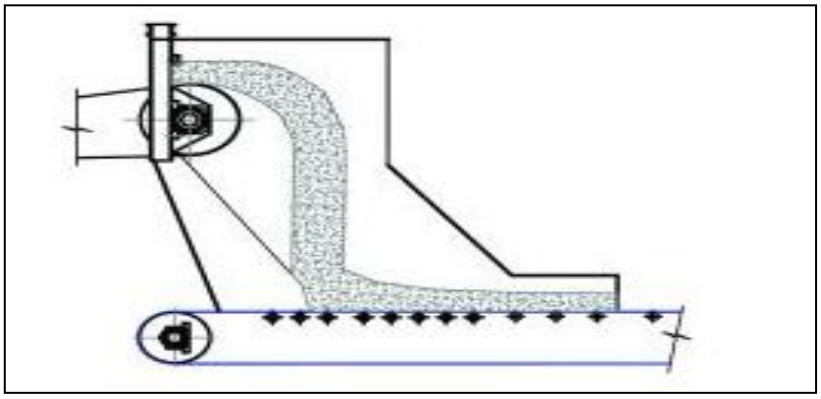


Figura 8: Chute de descarga
Fonte: Correias transportadoras guia básico Eletrobrás (2009)

As calhas destes equipamentos são de superfícies cônicas ou placas planas, dispostas de forma a se aproximarem destas configurações geométricas. Segundo Gavi (2009), a maioria das calhas de transporte em uso hoje tem suas encostas transversais retangulares ou quadradas, por vários motivos:

a) Por serem seções retangulares, ou quadradas, são feitas de placas planas, fáceis de visualizar, desenhar, fabricar, modificar, alinhar e substituir, em casos de desgaste;
b) Placas planas podem ser facilmente flangeadas e aparafusadas;
c) Permitem montar portas de inspeção, para acompanhamento do desgaste e observar entupimentos.

1.4.4.7 Conjunto de acionamento.

Um motor elétrico com acoplamento, ligado a uma caixa redutora que transmite rotação ao tambor motriz, que traciona a correia que transporta o material. Podem ser instalados em posições de cabeceira do transportados, no centro e no retorno, de acordo com o perfil do transportador, o espaço disponível para sua instalação e operação, considerando a potência transmitida, o sentido da correia e as tensões que nela atuam (ABNT NBR 6177,1999). Observe-se o desenho esquemático de um conjunto de acionamento de uma correia transportadora conforme a Figura 9.

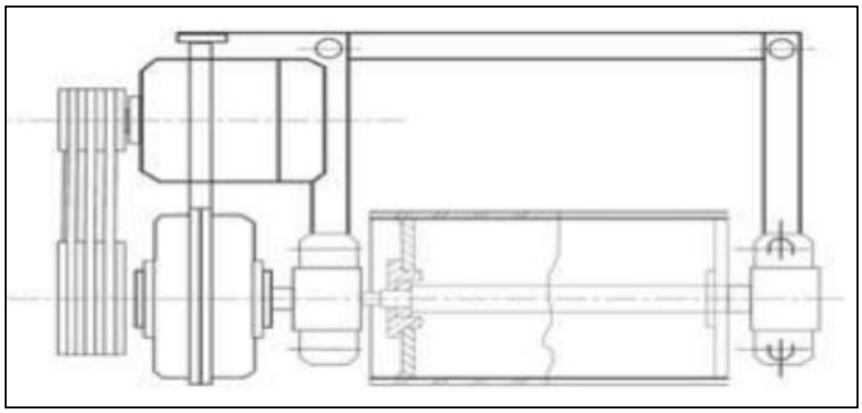


Figura 9: Conjunto de acionamento
Fonte: Correias transportadoras: guia básico Eletrobrás (2009)

1.4.4.8 Raspadores de correia

São equipamentos instalados próximos ao tambor de descarga ou retorno do material e ficam em contato com o lado de carga da correia. Sua função é retirar o resíduo de material que fica aglomerado na correia após sua queda nos chutes. São compostos por uma lâmina fabricada em elastômero de polietileno, para minimizar o desgaste do atrito com a correia. Esta lamina é fixada a uma régua de aço, com molas, ou contra pesos, nas extremidades, para proporcionar uma pressão constante sobre a correia, necessária para remoção do material impregnado sobre ela (ELETROBRAS 2009). Na Figura 10, a imagem de um raspador de correia instalado no retorno.

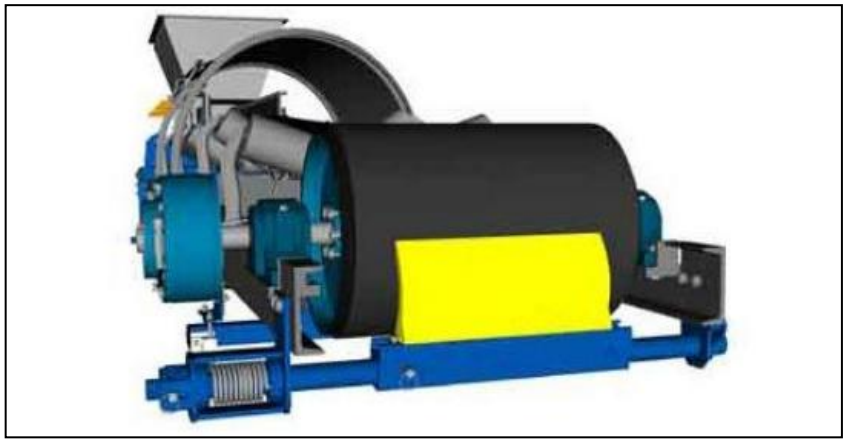


Figura 10: Raspador de correia
Fonte: Pré limpador Trellex da Metso (2017)

1.4.5 Máquinas *Stacker Reclaimer*

Máquinas que estocam e recuperam, utilizam uma roda de caçamba, combinadas, com uma correia reversível destinadas a formar pilhas nos pátios de estocagem e recuperar materiais.

Sua classificação é por tonelagem horária. Normalmente se deslocam sobre trilhos entre os estoques no pátio. Seus movimentos podem ser verticais ao elevar e abaixar sua lança e horizontais ao longo do trilho. A estocagem de material é formada por pilhas com a elevação da lança na medida em que a altura do estoque aumenta.

Eles podem empilhar em diferentes padrões, como empilhamento de cone e empilhamento de *chevron.* Empilhar em um único cone, tende a segregar de tamanho, com material mais grosseiro se movendo em direção à base. No empilhamento de camadas cone-cone, cones adicionais são adicionados ao lado do primeiro cone. No empilhamento de *chevron*, o empilhador viaja ao longo do comprimento da camada de acréscimo de estoque sobre a camada de material.

São equipamentos semiautomáticos ou totalmente automatizados, com parâmetros configurados remotamente.

A máquina possui três movimentos básicos:

a) Orçar: Movimento vertical, usando um mecanismo de guincho com arame de metal ou cilindros hidráulicos; geralmente dois.

b) Deslocamento: Move-se em um trilho, que pode ser de bitola larga ou estreita, permitindo que ele se mova pelo pátio de estocagem conforme necessário. Motores de tração acionados por corrente contínua, conectados por engrenagens com 12 a 22 rodas de apoio.

c) Girar: Em torno do seu eixo central para alinhar ou colocar o estoque quando necessário. O mecanismo consiste em um pinhão giratório que gira em torno de uma base de giro. O acionamento também por motores de eixo que transmitem torque através de engrenagens. Na Figura 11 *Stacker Reclaimer* no pátio de carvão.

Figura 11: *Stacker Reclaimer*
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas (2007)

1.4.6 Silos de Armazenagem

Nos processos industriais, principalmente nas áreas de siderurgia e mineração, o silo tem um papel relevante na armazenagem e manipulação dos processos de produção (ARAÚJO; CALIL JUNIOR, 2002).

Vários estão relacionados com a classificação dos silos, o nível em relação ao solo a geometria e o material utilizado para sua instalação. Diversos materiais podem ser empregados na sua construção, como: chapas metálicas, alvenaria, compósitos com fibras e matrizes, concreto ou madeira (LOPES, 2009).

Segundo Freitas (2001), silo é o nome genérico para todos os tipos de construção para armazenamento de produtos granulares ou pulverizados; geralmente é equipado com dispositivos de descarga e capaz de ser esvaziado por gravidade, preferencialmente, ou através de meios mecânicos ou pneumáticos. São consideradas células individuais, geralmente construídas em forma cilíndrica, podendo utilizar os mais diversos tipos de materiais para sua construção conforme Figura12.

Figura 12: Silos de Carvão
Fonte: Usiminas (2007)

Os produtos armazenados no interior do silo exercem pressões nas paredes verticais e no fundo do silo. Na parede vertical atuam pressões horizontais (P_h) que são normais às paredes e pressões de atrito vertical do produto com a parede (P_w) que são paralelas às paredes. Na tremonha, atuam as pressões tangenciais às paredes - (P_t) e pressões normais (P_n). Na base ou fundo do silo, atuam pressões

denominadas pressões verticais (P_v), que são provenientes do peso das camadas superpostas do produto armazenado, conforme a Figura 13. Normas Europeias (BS EN, 2006).

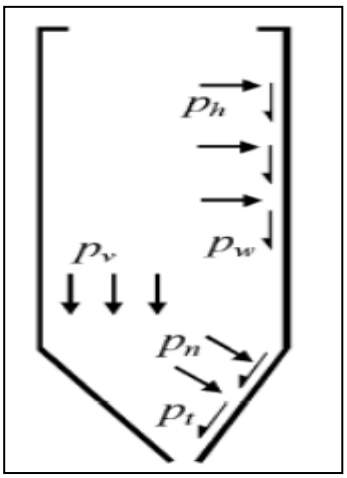


Figura 13: Notação dos parâmetros das pressões de um silo.
Fonte: BS EN (2006).

Quando o produto está armazenado em repouso no interior do silo, atua o campo de tensões iniciais que difere, significativamente, da condição de descarregamento, no qual atua o campo de tensões dinâmicas. A diferença no campo de tensão entre a situação de carregamento e descarga acarreta um aumento considerável nas pressões que atuam nas paredes do silo, podendo aparecer picos de pressões quando a situação de fluxo é obtida.

O aumento das pressões é atribuído a mudança do estado de equilíbrio do produto armazenado, que se encontra no estado ativo de equilíbrio, durante o armazenamento, em repouso, e passa para o estado passivo quando os produtos iniciam seu movimento, de acordo com Jenike e Johanson (1968) citados por Nascimento (2008).

As pressões, estáticas e dinâmicas, nas paredes dos silos, causadas pelo produto armazenado, nas fases de carregamento, armazenamento e descarga são mostradas na Figura 14 (RAVENET,1992).

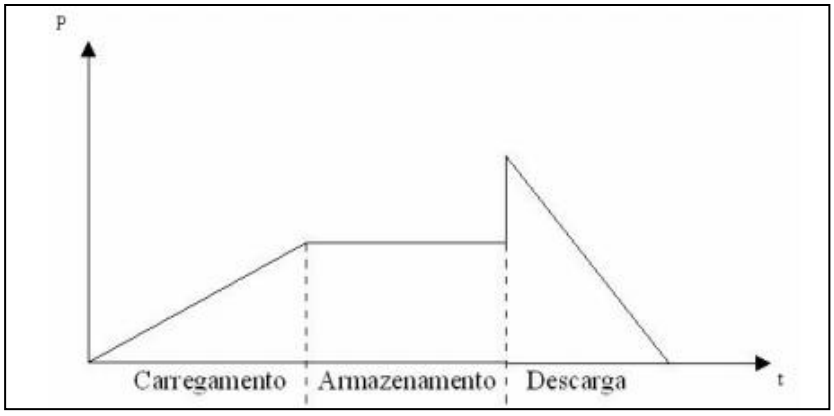


Figura 14: Pressões na parede do silo em função dos ciclos de carregamento armazenamento e descarga
Fonte: Ravenet (1992)

De acordo com Silva (1993), a variabilidade espacial e temporária das pressões devidas aos produtos armazenados em silos, impede que sejam calculadas com certeza e precisão absoluta.

Dependendo da característica do material armazenado, essas pressões aumentam o atrito com as paredes do silo favorecendo a compactação e estagnação do material.

Os materiais de construção e revestimento dos silos teve um grande desenvolvimento, permitindo aumentar a capacidade e o escoamento do produto (ARAUJO; CALIL JUNIOR,1995).

Para que o projeto de um silo seja econômico, seguro e eficiente, algumas características devem ser consideradas:

a) Pressões causadas pelo produto sobre as paredes;

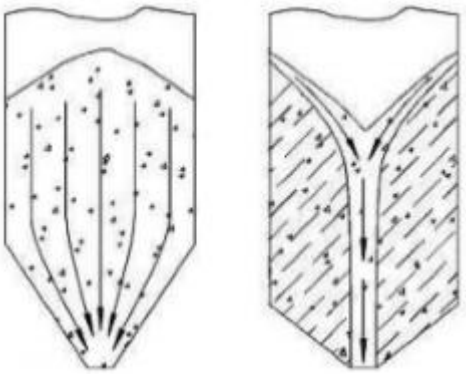
b) Forma geométrica;

c) Carregamento e descarregamento;

d) Propriedades físicas do produto armazenado.

Os estudos das pressões exercidas pelo produto na armazenagem ainda divergem entre os pesquisadores e normas existentes (FREITAS,2001).

Existem dois tipos básicos de fluxo durante o esvaziamento de um silo, conforme o *Eurocode 1* (EUROPEAN COMMITEE FOR STANDARDIZATION, 2006, apud KEHI. 2015) fluxo de massa e fluxo funil. A descrição desses dois tipos de fluxos são feitas por Jenike (1964), apud KEHI, 2015) e são ilustradas na Figura 15.



a) fluxo de massa **b) fluxo de funil**

Figura 15: Tipos básicos de fluxo em silos
Fonte: LOPES (2009)

a) Fluxo funil: apenas parte do produto entra em movimento formando um canal vertical no interior do silo, alinhado com a boca de descarga, cercado por um zona na qual o produto permanece estático (Figura 15b). O fluxo de funil tende a ocorrer quando as paredes da tremonha são rugosas e seu ângulo de inclinação da tremonha é tal que gera uma transição abrupta entre o corpo do silo e a tremonha, apresentam também, menores capacidades de armazenamento devido a formação das zonas estagnadas, que só conseguem ser removidas mediante o completo esvaziamento do silo. Quanto as paredes laterais ficam sujeitas a menores pressões devido à zona estagnada. Contudo, devem ser esperadas altas pressões sobre as paredes na região em que o canal de fluxo encontra a parede (transição efetiva).

b) Fluxo de massa: produto armazenado entra significativamente em movimento em todas as partes do silo, no momento do processo de descarregamento (Figura 15a). Este tipo de fluxo ocorre quando as paredes da tremonha são suficientemente inclinadas e lisas e não existem abruptas transições.

Os principais obstáculos que a indústria tem enfrentado no manuseio de produtos granulares, é a formação de arcos coesivos capazes de restringir, parcial ou completamente, a descarga cuja ocorrência está intrinsecamente relacionada com as geometrias dos silos e as propriedades físicas de fluxo dos produtos sólidos e condições ambientais, tais como pressão, temperatura e umidade (CANNAVACCIUOLO, 2009).

Antes do século XX, os silos eram dimensionados com base nas teorias da hidrostática, que considerava um comportamento de fluido para materiais granulados. A partir de alguns avanços de conhecimento, em especial do atrito do material com a parede do silo, o planejamento e a construção de silos passaram a ser analisados de uma forma diferente, dando ênfase as grandes forças de atrito entre o produto granulado e às paredes dos silos (PINTO, 2010).

2.MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo e a aplicação do trabalho foi desenvolvido em uma siderúrgica. Uma empresa com alta capacidade de produção de laminados, atende ao setor automobilístico, de autopeças, máquinas agrícolas e rodoviárias, equipamentos eletroeletrônicos e tubos de grande diâmetro. O sistema de recebimento e beneficiamento de carvão foi à área, desenvolvimento e implantação do projeto, conforme a (Figura 16).

Figura 16: Recebimento e beneficiamento de carvão em uma siderúrgica
Fonte: Intranet Usiminas (2004)

Todo carvão consumido pela siderúrgica recebido pelo modal marítimo, descarregado e enviado por correias transportadoras para os *Stackers Reclaimers,* localizados nos pátios de carvão para formação de pilhas.

Os vários tipos de carvões, são recuperados pelos *Stackers Reclaimers* e enviado para os 24 silos de dosagem onde é processada a mistura para ser enviada as baterias de coque através de um sistema de correias transportadoras. As principais características do processo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características do manuseio de carvão de uma siderúrgica

MANUSEIO DE CARVÃO			
04 STACKER RECLAIMERS	VAZÃO DE EMPILHAMENTO	Nominal	1.200t/h
		Máxima	1.450 t/h
	VAZÃO DE RECUPERAÇÃO	Nominal	450 t/h
24 SILOS DE DOSAGEMl	CAPACIDADE/SILO	300t	
CARVÃO	GRANULOMETRIA	81% a 84% menor 3,36 mm	

Fonte: Usiminas (2004).

O estudo identificou os gargalos nas áreas de abastecimento dos silos de dosagem e no transporte de mistura de carvão para baterias de coque.

2.1 Sistema de abastecimento dos silos de dosagem:

O sistema de abastecimento de carvão para dosagem, com 24 silos e capacidade, de projeto de 300 toneladas em cada silo, permitindo ao sistema uma autonomia de 7200 toneladas de carvão para mistura.

A descarga no interior do silo é feita por gravidade, o fluxo de saída do carvão armazenado é classificado como fluxo funil, que forma um canal no interior do silo, alinhado com a boca de descarga, conforme a Figura 17.

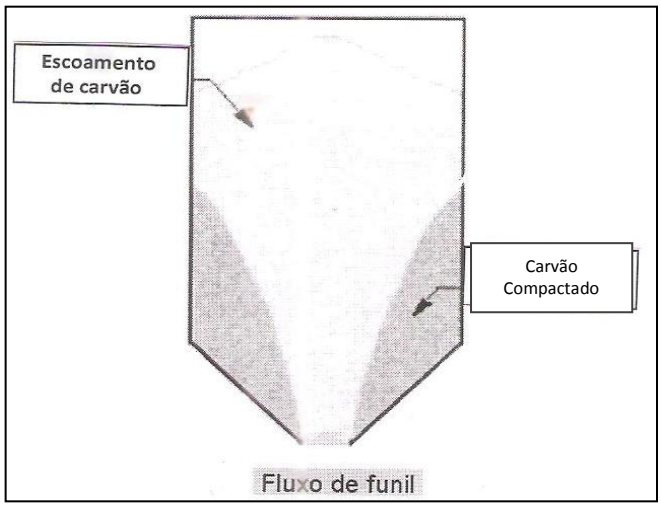


Figura 17 - Fluxo de carvão nos silos de mistura
Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2004)

Com a compactação do carvão, na região inferior dos silos, impedia seu esvaziamento completo, diminuindo a capacidade efetiva do sistema. Os silos operavam em média com 120 toneladas, uma capacidade de armazenagem nos 24 silos de 2.880 toneladas de carvão para mistura.

Com a baixa autonomia do sistema, o ciclo de abastecimento dos silos era maior, exigindo mais disponibilidade de máquinas (*Stacker Reclaimers*) para operação de recuperação para suprir o sistema de dosagem.

Considerando as características da máquina, *Stacker Reclaimer,* com peso *de* 250 toneladas, uma altura de 25 metros, alimentação elétrica 2.4 KW trifásico, translação com 8 motores 440V, velocidade de 20 metros por minuto, os custos de movimentação são significativos. Em 24 horas, o deslocamento da máquina para operação de abastecimento dos silos era maior, consumindo mais energia e maior desgaste nos componentes mecânicos (acoplamentos, redutores).

Os motores elétricos de translação da máquina, a corrente de partida é de 6 a 7 vezes a corrente nominal, reduzindo com maior intermitência e consequentemente um maior o consumo de energia.

Nestas condições, as operações de descarga de navios com carvão eram prejudicadas, devido à baixa disponibilidade de máquinas, não cumprindo a tonelagem mínima estabelecida no contrato com a embarcação, acarretando em elevadas multas na descarga da embarcação, com multas por sobrestadia.

A inspeção no interior dos silos constatou que a perda de capacidade pela compactação do material no seu costado, era causada pelo atrito do carvão úmido e a parede oxidada do silo (Figura 18).

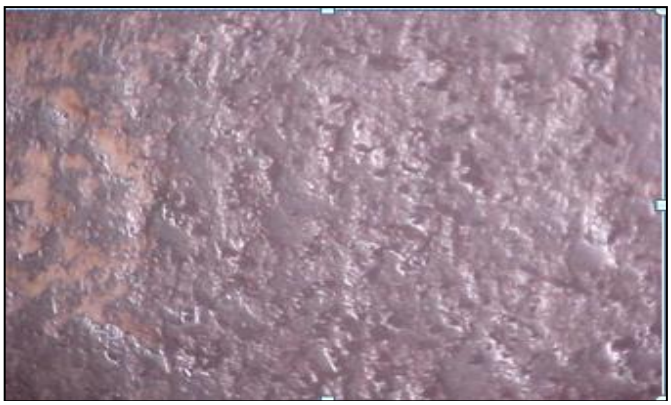


Figura 18 - Parede oxidada do silo de carvão
Fonte: Manuseio de carvão Usiminas(2004)

As propostas para solucionar o problema seria:

a) Instalação de vibradores;
b) Canhão com ar comprimido;
c) Revestimento com material de baixo coeficiente de atrito.

As duas primeiras alternativas, foram descartadas, por comprometerem a estrutura metálica do cone do silo, além do ruído.

A solução foi revestir o cone dos silos. As etapas deveriam prever a remoção do material compactado, limpeza e tratamento anticorrosivo da parede do silo e a aplicação de um revestimento antiaderente com características de ser:

a) Leve;
b) Baixo coeficiente de atrito;
c) Resistência ao impacto;
d) Resistência a abrasão;
e) Facilidade de instalação;
f) Baixo custo.

A decisão foi revestir, a parte inferior dos silos, com polietileno, UHMW (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*), de ultra alto peso molecular. Material com extrema resistência ao impacto, alta capacidade de absorção de energia sob altas taxas de cisalhamento, resistência a abrasão e baixos valores de resistência ao atrito, podendo ser aplicado com temperaturas entre -20°C. e + 20°C. Propriedades físicas do material descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades Físicas do UHMW

Propriedades**	ASTM	Unidade	Valor Típico
Mecânicas			
Densidade	D-792	g/cm^3	>0.93
Resistência à Tração			
Ruptura	D-638	kgf/cm^2	350
Escoamento		kgf/cm^2	250
Alongamento na Ruptura		%	300
Deformação por Compressão		20°C / 60 kgf/cm^2 / 24h	
Sob Carga		% espessura	5.1
Retirada a Carga			1.8
Resistência ao Impacto IZOD	D-256A	J/m	Não quebra
Resistência à abrasão	D-1044	mg/1000 ciclos	23
Desgaste por abrasão em lama de areia		aço 1020 = 100	25
Dureza	D-2240	Shore D	63
Coeficiente de Atrito (Aço Polido 23°C)	D-1894		
Estático			0.25
Dinâmico			0,16
Térmicas			
Temperatura de deflexão térmica	D-648		
450 kgf/cm^2		°C	79
1.810 kgf/cm^2		°C	48
Temperatura de Operação			
Máxima Constante		°C	82
Máxima Intermitente*		°C	93
Elétricas			
Resistividade	D-257		
Superficial		Ω (ohms)	>10^{16}
Volumétrica		Ω-cm	>10^{13}

Fonte: Ultra Hi Plásticos Industriais Ltda. (2004)

A especificação do material, para o revestimento, considerou as características, do silo e do produto armazenado:

a) Carvão mineral com granulometria 80% menor que 3mm;
b) Umidade 4% a 14%;
c) A existência de vibração no corpo do silo foi considerada desprezível;
d) Altura dos silos 25 metros;
e) Parede de aço carbono;
f) Diâmetro de 5 metros;
g) Base com fundo cônico sobreposto.

O método de montagem, considerou o revestimento com painéis (módulos) com 10 mm de espessura, 500 mm de comprimento, facilitando a entrada no interior

dos silos. O alinhamento, entre os módulos, seria executado de topo nas arestas longitudinais ao escoamento do material e chanfradas a 45° nas arestas perpendiculares ao escoamento do material e obedecendo a um espaçamento padrão, para dilatação térmica de 3 a 5 mm e a fixação dos painéis ao redor do cone distanciados 50mm em todo perímetro do silo. Na parte superior do cone, foi aplicado um perfil quadrado de 3/8” em aço SAE 1020 trefilado, para vedar a borda assegurando a fixação contra a queda do material na área revestida.

O revestimento exigiu um planejamento das atividades e um cronograma para acompanhamento (Figura 19).

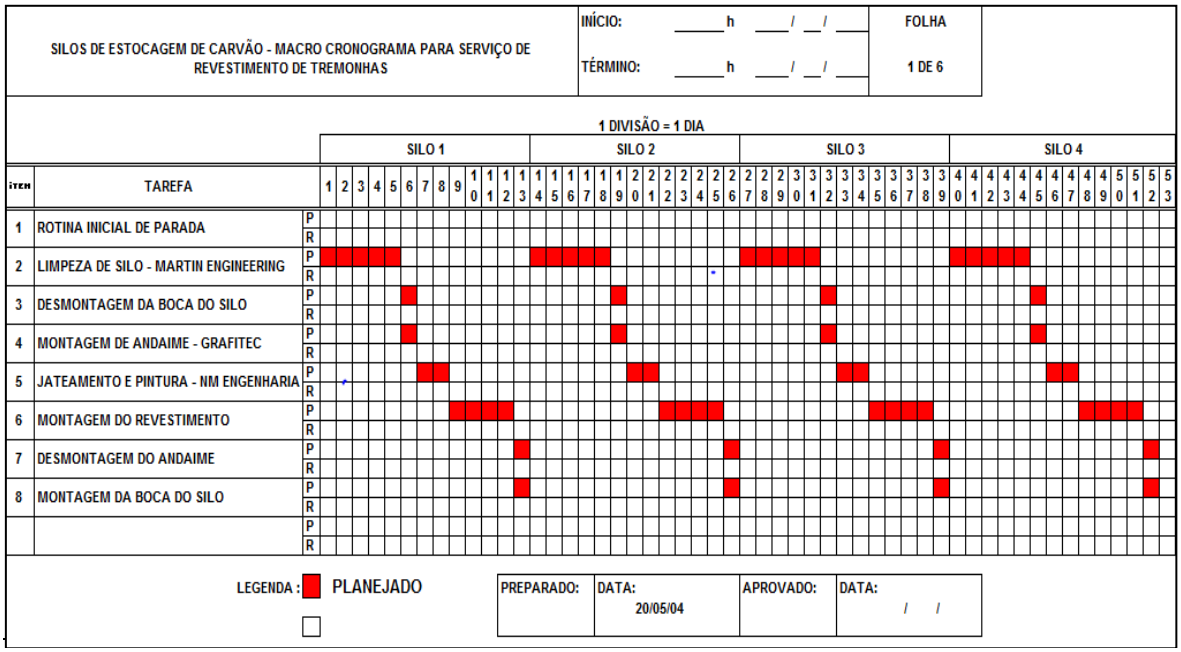


Figura 19 - Macro cronograma de revestimento de silos.
Fonte: Ultra Hi (2004)

O tempo de intervenção em cada silo foi de 13 dias, considerando, as etapas de limpeza (5 dias), acesso, montagem de andaime e preparação, para revestimento (1 dia), jateamento no interior do silo (2 dias), montagem do revestimento (4 dias) e a entrega para operação (1dia).

A liberação dos silos para revestimento foi planejada com a área operacional, evitando interferências no processo. Para maior segurança durante os serviços, as correias próximas aos silos, foram isoladas com tapamentos laterais, proporcionando segurança à equipe de manutenção e também, proteção ao equipamento, quanto à queda de material. A parte superior do silo, foi fechada com tapume de madeira.

O posicionamento diário das atividades era acompanhado pelo cronograma permitindo a eliminação de interferências.

A limpeza foi a primeira etapa do revestimento do silo, com a utilização de um equipamento pneumático composto basicamente de uma sonda de alumínio equipada com laminas giratórias de aço, as quais, por meio de ação mecânica, removiam o material acumulado no costado do silo.

A sequência dos trabalhos:

a) O posicionamento do equipamento, no topo da casa de silo, a 35 metros de altura, com a utilização de um guindaste, *Clark* de 20 toneladas;

b) Abertura de uma janela no topo do silo de dimensões 500 mm x 500 mm, para posicionamento do equipamento de limpeza;

c) Remoção do material, controlado pelo topo do silo, proporcionou segurança para os operadores, eliminando a necessidade de entrar no silo. Todo carvão removido foi totalmente reaproveitado utilizando a própria correia do sistema na base do silo;

d) Limpeza da parede com jato de água, sobre pressão permanecendo por 36 horas para a secagem.

O tratamento superficial com pintura considerou 3 camadas de revestimentos fluidos:

1ª Camada: Epóxi poliamida rico em zinco, camada 60 a 70 micrometros;
2ª Camada: Epóxi poliamida de alta espessura, camada 120 micrometros;
3ª Camada: Polietileno Alifático, espessura camada 30 micrometros.

A abrangência do serviço envolveu a cobertura de toda a área dos cones, com 84 metros quadrados, excluindo-se as paredes verticais do silo. Os painéis de revestimento foram fornecidos semiacabados para serem ajustados no local, observando-se chanfros e lados para a furação mais adequado à posição, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Fixação dos painéis de polietileno
Fonte: Ultra Hi Plásticos industriais Ltda. (2004)

Os painéis, antes de serem fixados foram pincelados com uma demão de alcatrão de hulha em toda a extensão do perímetro do mesmo, para evitar a penetração de finos de carvão e resíduos líquidos na parte posterior dos painéis.

Objetivando maior integridade do equipamento, evitando furação do costado do cone, optou-se por fixar os painéis de polietileno na parte interna do cone. Na seção de entrada do anel revestido, foi colocada uma proteção de borda, evitando a penetração de material entre o costado do cone e os painéis, e o possível descolamento dos módulos, além de proporcionar um melhor escoamento do material quando na entrada da zona revestida.

O sistema de fixação utilizado, *Weld Washer*, fixação por arruelas, soldadas na parede do silo, com posterior tamponamento, denominado plugagem ou *plug*, do mesmo material que os módulos, evitando pontos de agarramento do carvão e turbulências durante a passagem pelo revestimento, conforme a Figura 21.

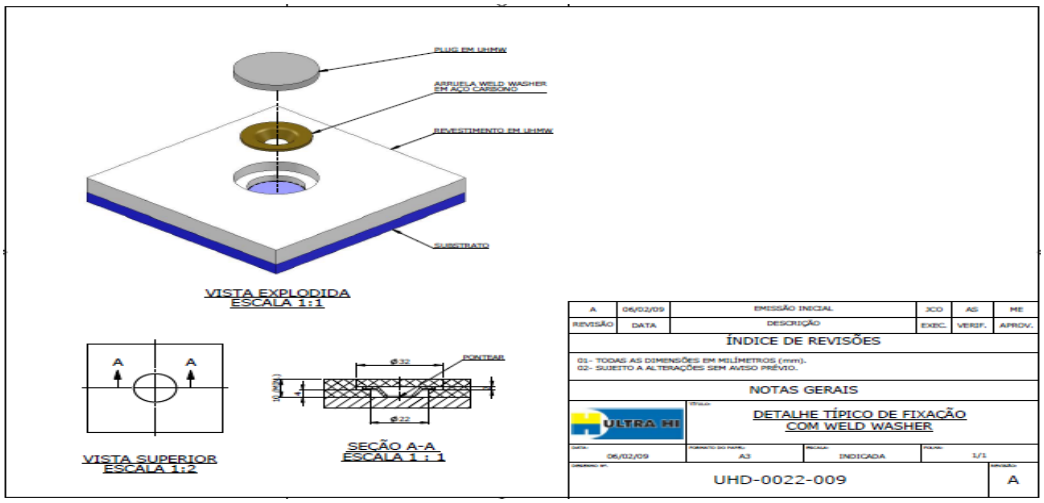


Figura 21 - Sistema de fixação Weld Washer (solda por arruela)
Fonte: Ultra Hi Plásticos Industriais Ltda. (2004)

Com este sistema evitou-se o desgaste prematuro no revestimento, nas regiões de fixação, e uma superfície plana, favorecendo o melhor escoamento conforme a Figura 22. Os plugues foram aplicados com o mesmo material das placas, polietileno.

Figura 22 - Acabamento com plugues em polietileno no silo 8
Fonte: Ultra Hi Plásticos Industriais Ltda. (2004)

A especificação do material levou em consideração também, a expansão e a contração térmica devido à temperatura de aplicação versus a temperatura de instalação (ambiente). Os coeficientes de dilatação termica variam de acordo com as faixas de temperaturas de operação.

Acima de 20°C, a expansão dada pela expressão (1) tendo como orientação os dados da Tabela 3.

$$\text{Acima de } 20°C \Rightarrow 1.404 \times \frac{10^{-4}\frac{mm}{mm}}{\Delta t}\ °C \qquad (1)$$

Tabela 3 - Expansão do UHMW em milímetros

> 20 ° C	Diferença de temperatura (° C)					
Comprimento (mm)	10	20	30	40	50	60
000	4.212	8.424	12.636	16.848	21.060	25.272
2500	3.510	7.020	10.530	14.040	15.550	21.060
2000	2.808	5.616	8.424	11.232	14.040	16.848
1500	2.106	4.212	6.318	8.424	10.530	12.636
1000	1.404	2.808	4.212	5.616	7.020	8.424
500	0.702	1.404	2.106	2.808	3.510	4.212

Fonte: Ultra Hi (2007)

Abaixo de 20°C, a expansão dada pela expressão (2) tendo como orientação os dados da Tabela 4.

Acima de 20°C ⇒ $1.098 \times \frac{10^{-4}\frac{mm}{mm}}{\Delta t}$ °C (2)

Tabela 4–Contração do UHMW em milímetros

< 20 ° C	Diferença de temperatura (° C)			
Comprimento (mm)	-40	-30	-20	-10
3000	-13.176	-9.882	-6.588	-3.294
2500	-10.980	-8.235	-5.490	-2.745
2000	-8.794	-6.588	-4.392	-2.198
1500	-6.588	-4.941	-3.294	-1.647
1000	-4.392	-3.294	-2.196	-1.098
500	-2.196	-1.647	-1.098	-549

Fonte: Ultra Hi (2007)

2.2 Sistema de envio da mistura para as baterias de coque:

O envio de mistura de carvão para as baterias de coque era feito por correias transportadoras. O arranjo físico das correias apresentava um número elevado de transportadores e calhas de transferências (chutes), conforme a Figura 23.

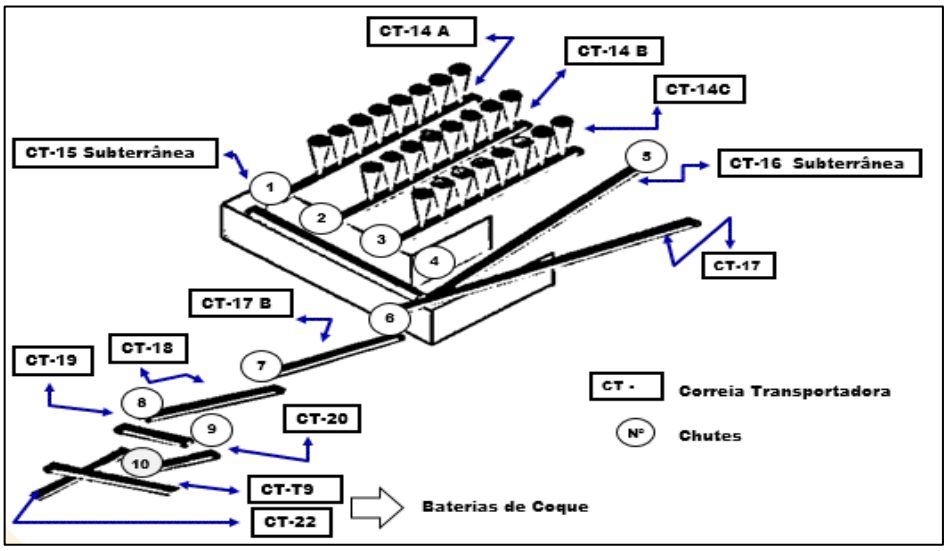


Figura 23 - Sistema de abastecimento de mistura para as baterias de coque
Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2004)

Os chutes, conforme estudados, são caixas metálicas que direcionam o material de uma correia para outra. Nestes pontos o impacto do material com a correia, por ser uma queda na vertical, a direção do fluxo de material carregado

nunca é exatamente a direção do movimento da correia que recebe o material, sendo um ponto de ocorrência de obstruções com vazamento de material. Nestas condições, as paradas de linha para limpeza e desobstrução das correias eram constantes, prejudicando a eficiência do sistema.

Como manuseio de muitas toneladas de material, essas ocorrências, ocasionavam danos ao equipamento, com necessidade de reparos de manutenção, elevando os custos operacionais. Na Figura 24 o chute, e o fluxo de material entre duas correias.

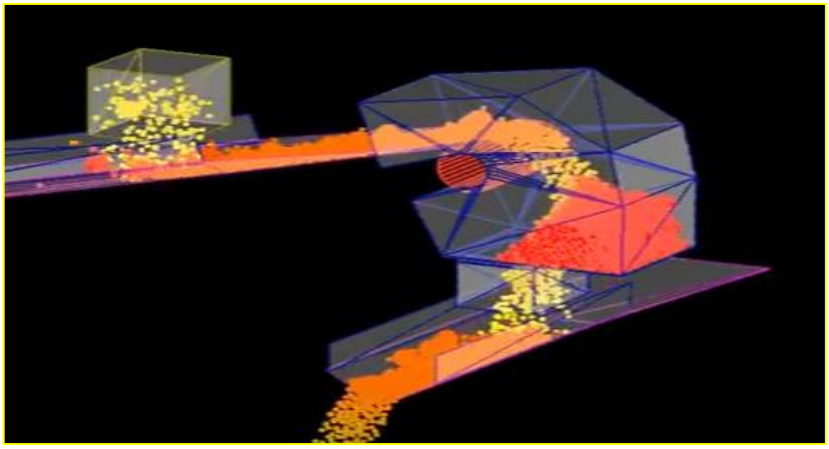


Figura 24 - Chute de correia transportadora
Fonte: Linc Nest Level (2007)

Outro ponto de gargalo do sistema, o arranjo físico apresentava dois transportadores, CT-15 e CT16, subterrâneos que dificultavam o acesso a operação e a manutenção. Em períodos de chuva, o acumulo de água nos equipamentos era grande, e o sistema de drenagem não dava vencimento, sendo obrigados a parar as correias. Nestas condições, o abastecimento era prejudicado, o retorno a operação exigia intervenção da manutenção e operação, com desgaste do pessoal e custos elevados.

Com capacidade dos transportadores de 450t/h de mistura de carvão operando com correias de 36 polegadas de largura, não permitia o abastecimento simultâneo para as baterias de coque. Nas preventivas mensais de manutenção no sistema, a recuperação dos níveis de silo das baterias de coque era demorada, exigindo um controle operacional para dosar o envio de material para aos dois sistemas de forma alternada.

O estudo de engenharia, avaliou a necessidade, de uma revisão no arranjo físico, com redução dos chutes do sistema, e a retirada dos transportadores do subsolo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados advindos das alterações efetuadas, serão divididos em três partes:

3.1 Limitação de estocagem no abastecimento dos silos de dosagem

O revestimento do silo, com polietileno, eliminou a compactação de material no silo, permitindo utilizar sua capacidade máxima. Com este resultado obteve-se:

a) A recuperação da capacidade do silo.

Acréscimo de 180 toneladas no interior de cada silo conforme a Figura 25.

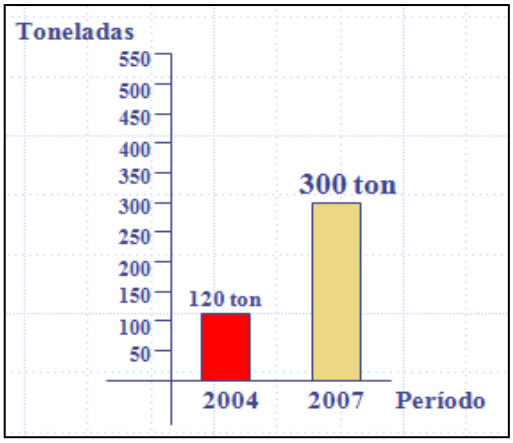


Figura 25 - Capacidade média de estocagem do silo
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas (2007)

b) Aumento da capacidade do sistema de estocagem de carvão para mistura de 4.320 toneladas; um incremento de 150%.

c) Redução do ciclo de abastecimento.

O abastecimento do silo, pelas máquinas, *Stacke Reclaimers*, tinha a duração média de 18 minutos, com revestimento do silo passou para 45 minutos.

O tempo maior gasto no abastecimento do silo, foi compensado pelo maior volume armazenado, reduzindo o ciclo de reabastecimento conforme a Figura 26.

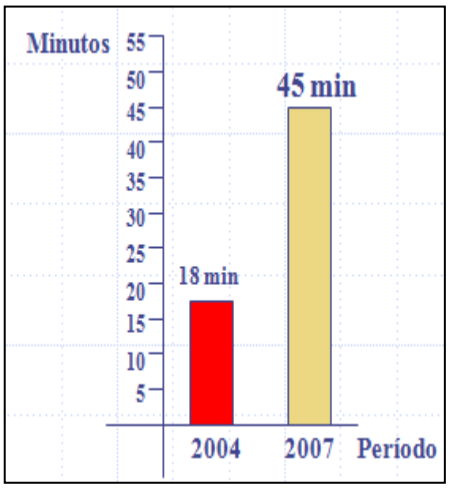


Figura 26 - Tempo de abastecimento dos silos de dosagem
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas (2007)

d) Maior disponibilidade de máquina para operação de descarga.

O revestimento dos silos permitiu maior disponibilidade de máquinas para operação de descarga, pela redução do ciclo operacional no suprimento dos silos de mistura, conforme caminho o crítico apresentado no *Program Evaluation and Review Technique* (PERT).

Na Tabela 5 a lista de atividades para o abastecimento de 5.400 t/dia de mistura de carvão, para as baterias de coque antes do revestimento dos silos.

Tabela 5 - Lista de atividades para suprimento dos silos de mistura não revestidos

Suprimento para as baterias de coque 5.400t/dia de mistura (24 silos com capacidade média de 120t/silo total de 2.880 t)					
Tempo em minutos				Descrição	Dependencia
Ativ.	cada silo	24 silos	Duas operações		
A	2	48	96	Posicionar lança da Máquina para deslocamento	
B	10	240	480	Deslocamento do Stacker Reclaimer para pilha carvão	A
C	2	48	96	Posicionamento da lança na pilha de carvão	B
D	1	24	48	Acionamento da roda de caçamba para iniciar recuperação	C
E	1	24	48	Acionar correia da casa de silos	
F	3	72	144	Posicionar triper na área de abastecimento	E
G	1	24	48	Posicionar damper para o silo	F
H	15	360	720	Abastecimento do silo de mistura com 5.400 t	D G

Fonte: Ciclo operacional Usiminas Cubatão, pátio de carvão 2007

Na Figura 27, gráfico da rede PERT, para o abastecimento de 5.400 t de mistura para as baterias de coque, com caminho critico de 24 horas.

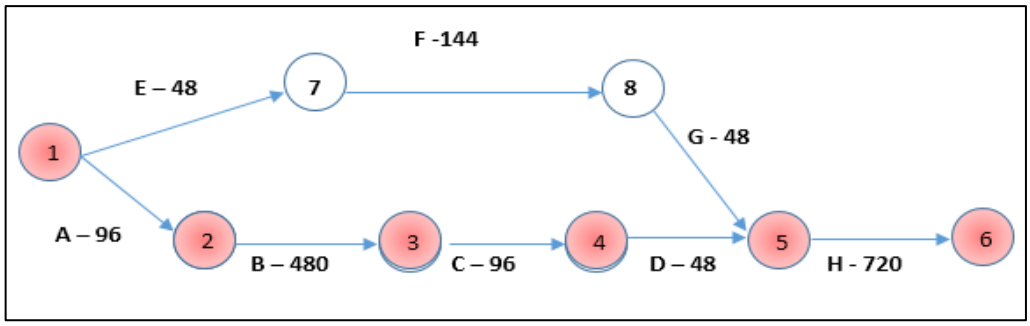


Figura 27: *Rede Pert* abastecimento dos silos de mistura em minutos (silos não revestidos)
Fonte: Maraia 2018

Na Tabela 6 a lista de atividades para o abastecimento de 5.400 t/dia de mistura de carvão, para as baterias de coque após revestimento dos silos.

Tabela 6- Lista de atividades para suprimento dos silos de mistura revestidos

Suprimento para as baterias de coque 5.400t/dia de mistura (24 silos com capacidade média de 300t/silo total de 7.200 t)				
Tempo em minutos			Descrição	Dependencia
Ativ.	cada silo	24 silos		
A	2	48	Posicionar lança da Máquina para deslocamento	
B	10	240	Deslocamento do Stacker Reclaimer para pilha carvão	A
C	2	48	Posicionamento da lança na pilha de carvão	B
D	1	24	Acionamento da roda de caçamba para iniciar recuperação	C
E	1	24	Acionar correia da casa de silos	
F	3	72	Posicionar triper na área de abastecimento	E
G	1	24	Posicionar damper para o silo	F
H	45	1080	Abastecimento do silo de mistura	D G

Fonte: Ciclo operacional Usiminas Cubatão, pátio de carvão 2007

Na Figura 28, gráfico da rede PERT, para o abastecimento de 5.400 t de mistura para as baterias de coque, com caminho crítico de 18 horas. :

.

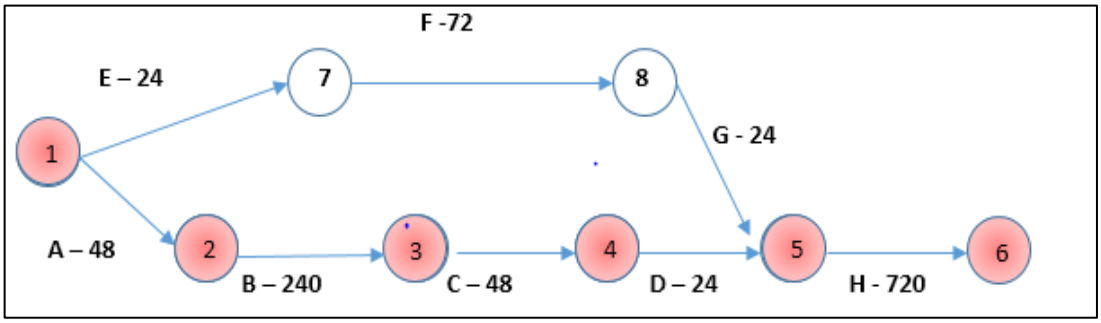


Figura 28: *Rede Pert* abastecimento dos silos de mistura em minutos (silos revestidos)
Fonte: Maraia 2018

e)Aumento na tonelagem horária de descarga

A maior disponibilidade de máquinas (*Stacker Reclaimer*) para operação de descarga de navio, permitiu um acréscimo significativo na tonelagem horária na descarga de carvão conforme a Figura 29, evitando sobrestadias e multas contratuais.

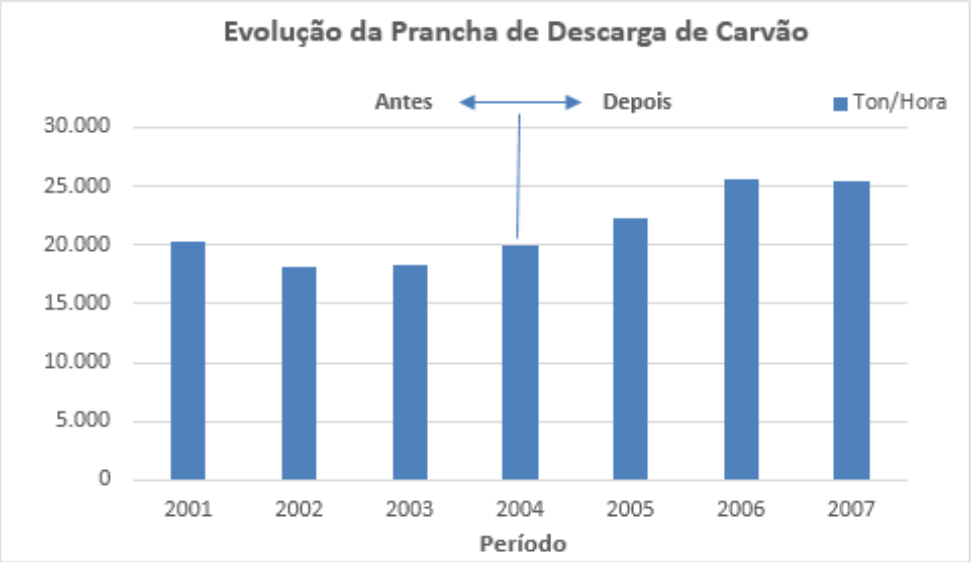


Figura 29 - Evolução da tonelagem de descarga de carvão
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas (2007)

3.2 Redução de perdas, no envio de mistura para as baterias de coque

A reestruturação do arranjo físico reduziu em 50%, o número de correias transportadores e chutes (10 para 5). O projeto reduziu a complexibilidade de rota do sistema conforme Figura 30.

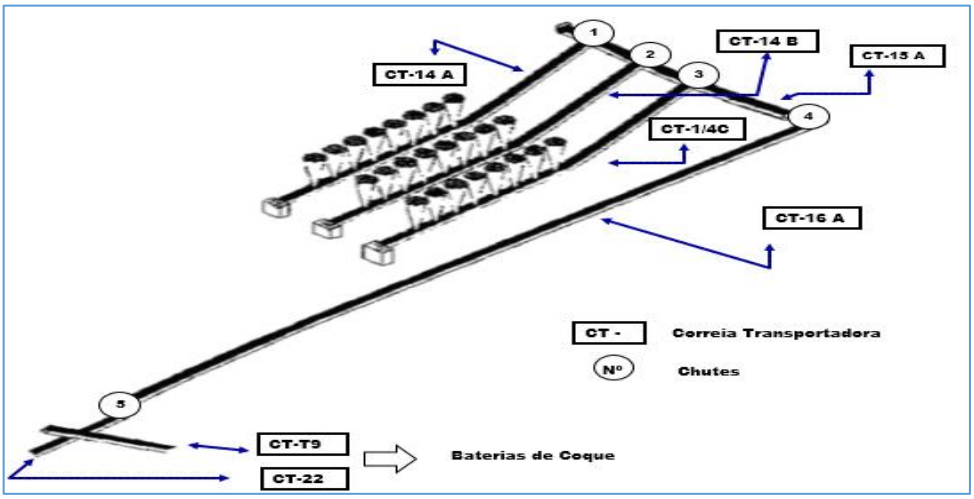


Figura 30 – Novo arranjo físico sistema de abastecimento de mistura para baterias de coque
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas (2007)

Com a implantação do novo arranjo físico, diversas vantagens foram obtidas, reduzindo perdas de paradas otimizando o fluxo de transporte de mistura para as baterias de coque. A Tabela 7 apresenta a síntese dos resultados obtidos.

Tabela 7– Resultados com o novo arranjo físico

RESULTADOS DO SISTEMA COM O NOVO ARRANJO FÍSICO					
Itens Avaliados	Antes	Unidade	Depois	Unidades	Redução %
Correias Transportadoras	12	Conjuntos	7	Conjuntos	41
Energia	615	KWh	425	KWh	30,8
Manutenção	1100	H/h mês	500	H/h mês	54,5
Capacidade	450	Ton /h	550	Ton./h	18,2
Chutes	10	Conjuntos	5	Conjuntos	50

Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2007).

Durante o desenvolvimento do projeto foi possível sugerir e implantar várias melhorias:

a) Redução no consumo de energia elétrica:

O novo arranjo físico, reduziu o número de transportadores e substituiu o sistema de acionamento de moto variadores, por motores de indução convencional, obtendo uma redução no consumo de energia elétrica de 30,89 %.

O arranjo físico anterior, apresentava o consumo de energia de 615 kW/h, conforme a Figura 31.

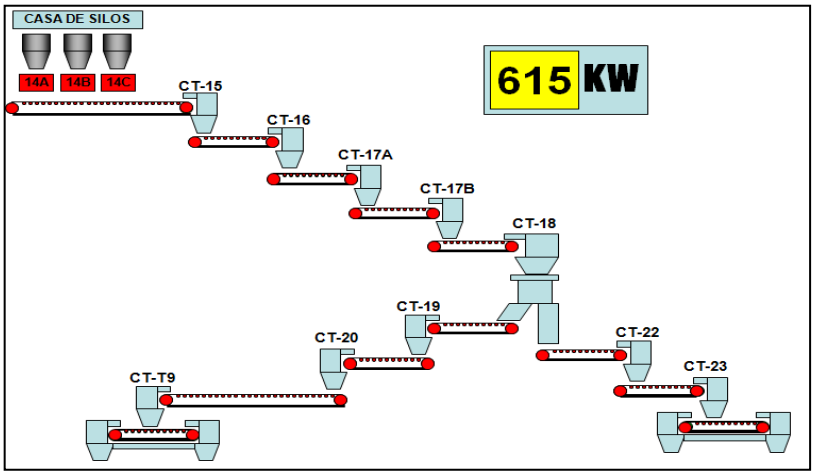


Figura 31 -Consumo KW/h arranjo físico anterior.
Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2007)

Novo arranjo físico: consumo de energia, 425 kWh conforme a Figura a 32.

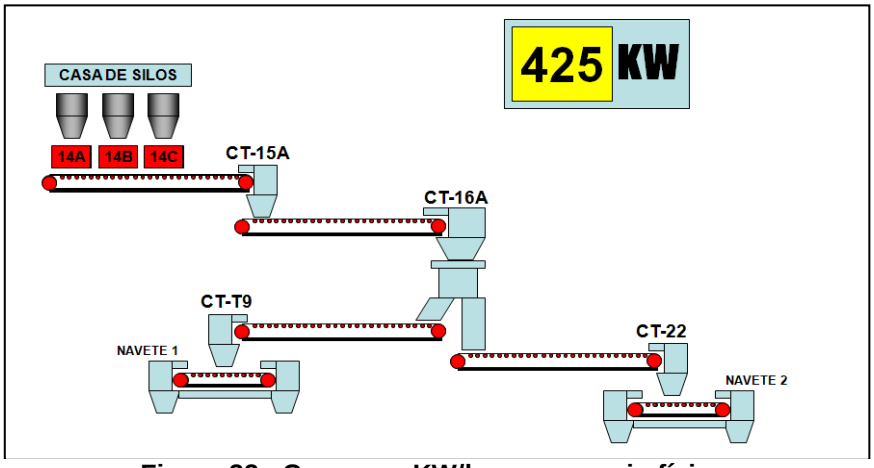


Figura 32 - Consumo KW/h novo arranjo físico
Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2007)

Uma redução de 2280 kWh/ dia ou 832 MW /ano de economia.

b) Incremento de 22% na capacidade de transporte de mistura para as baterias de coque (450 t/h para 550 t/h), com o aumento da largura de correia (36 polegadas para 42 polegadas), em dois transportadores (CT 15A e CT16A).

c) A pesagem da mistura recebia sinais analógicos das balanças para controlar a velocidade com um supervisório também analógico. O sistema foi substituído por um PLC com sinais digitais e o controle realizado com um inversor de frequência, melhorando a velocidade de resposta e maior precisão na pesagem.

d) Alteração no projeto de tapamento e cobertura dos novos transportadores, CT-15A e CT- 16A, permitiu uma conservação melhor das estruturas e acesso mais seguro a operação e a manutenção conforme Figura 33.

Figura 33 - Novo projeto de cobertura da transportadora CT 16 A
Fonte Usiminas (2007)

e) Redução do número de componentes de transportadores.

Com o novo arranjo físico e a diminuição do número de transportadores, houve uma redução de componentes de correias transportadoras:

a) 478 suportes de roletes;
b) 2.505 roletes;
c) 05 chutes;
d) 08 Tambores;
e) 10 conjuntos de raspadores de correia;
f) 05 redutores;
g) 05 moto variadores;
h) 26 mancais de rolamento.

O material retirado com exceção dos moto variadores, foi totalmente reutilizado no restante do sistema. A Tabela 8 descreve as reduções dos componentes.

Tabela 8 – Redução de componentes de transportadores

REDUÇÃO DE COMPONENTES DE TRANSPORTADORES					
Itens Avaliados	Antes	Unidade	Depois	Unidade	Redução %
Suportes de rolos	1388	Peças	910	Peças	34,44
Roletes	3540	Peças	1035	Peças	70,76
Tambores	19	Conjuntos	27	Conjuntos	32,5
Raspadores	38	Conjuntos	28	Conjuntos	26,32
Estrutura	480	Toneladas	360	Toneladas	25
Redutores	15	Conjuntos	10	Conjuntos	33,33
Motores	15	Conjuntos	10	Conjuntos	33,33
Mancais	80	Conjuntos	54	Conjuntos	32,5

Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2007).

3.3 Viabilidade econômica dos projetos

Foi feito um estudo da taxa interna de retorno, mostrando a viabilidade dos projetos, demonstrada na Tabela 9.

Tabela 9: Apresentação dos elementos da Taxa de Retorno

INVESTIMENTO NOS PROJETOS	
PROJETO 1 - REVESTIMENTO DOS SILOS REVESTIMENTO DOS SILOS	
Quantidade de silos (unidade)	24
Capacidade de cada silo (ton.)	120
Capacidade do sistema (ton.)	2.880
Área revestida por silo (m2)	90
Area total a ser revestida (m2)	2.160
Custo do revestimento (R$)	500,00
Custo de Material e M.O. (R$)	45.000,00
Total do projeto (R$)	1.080.000,00
PROJETO 2 - ARRANJO FÍSICO DAS CORREIAS ARRANJO FÍSICO CORREIAS	
Custo do projeto (R$)	500.000,00
Custo do Material (R$)	2.300.000,00
Custo da Mão de Obra (R$)	2.000.000,00
Total do projeto (R$)	4.800.000,00
Custo total do Projeto 1 e 2	**5.880.000,00**

RETORNO DO INVESTIMENTO	
Demurrage	
Tonelada / navio	48.000
Atraso médio descarga por navio(h)	6
Número de navios ano	42
Demurrage/navio (US$ mínimo)	6.250,00
Demurrage / ano (US$)	262.500,00
Total (R$/ano)	918.750,00
Redução do consumo de energia elétrica	
Total (R$/ano)	120.000,00
Redução dos custos de manutenção	
Custo Mão Obra (R$/ano)	52.000,00
Custo Limpeza (R$/ano)	25.000,00
Custo de Material (R$ /ano)	50.000,00
Total (R$/ano)	127.000,00
Retorno do investimento(R$/ano)	**1.165.750,00**

TIR 19%

Fonte: Maraia 2018

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pôde-se concluir que o estudo mostrou a importância de observarem-se as restrições nos processos ao invés de tentativas de substituições por componentes de última geração.

Nos silos de dosagem, buscou-se atingir a capacidade instalada dos equipamentos na sua plenitude.

Com o novo arranjo físico e dos transportadores reduziu-se a complexibilidade do sistema, permitindo um fluxo mais racional.

Desta maneira, entende-se destacar os aspectos relevantes das modificações aplicadas nos projetos.

A) Silos de dosagem:

a- Recuperação da capacidade dos silos de dosagem;

b- Redução do ciclo de abastecimento dos silos de dosagem*;*

c- Maior disponibilidade de máquinas para descarga de navios*;*

d- Aumento da tonelagem hora no recebimento de carvão.

B) Arranjo físico dos transportadores:

a-Redução de pontos críticos de parada do sistema (Chutes);

b-Redução do consumo de energia;

c-Redução do efetivo de manutenção;

d-Aumento da capacidade do sistema;

e-Novo projeto de cobertura dos transportadores;

f- Maior segurança de acesso aos equipamentos (CT15A e CT16A);

g-Racionalização do número de componentes de Correias Transportadoras.

Para execução das ações aos novos projetos, foi necessário um estudo estratégico para otimizar as etapas de intervenção, todas as modificações não poderiam ser realizadas só de uma vez, tendo em vista as limitações de permissão de tempo total da planta parada, disponibilidade total de mão de obra a ser aplicada e a logística de aprovisionamento de materiais.

A decisão mais adequada, revestir o silo, somente na parte cônica, resultou de um estudo de viabilidade técnica e econômica, nas alternativas analisadas pela engenharia.

Da mesma forma o novo arranjo físico, foi uma decisão técnica e econômica, entre as alternativas de manter o projeto original fazendo manutenção ou mudar o arranjo físico. A execução do novo arranjo físico, exigiu um planejamento de montagem e operação devido a limitação de planta parada.

Pode-se sugerir como estudos complementares:

a) Analisar e propor modificações no arranjo físico do pátio de estocagem, melhorando a eficiência de recuperação dos vários tipos de carvões.

b) Automatizar a operação das máquinas *Saker Reclames*, centralizando a operação pela sala de controle.

c) Estudos para aplicação de materiais antiaderente, no revestimento dos chutes das correias transportadoras.

5. EDIÇÃO COMPACTA

Efeitos da alteração do ciclo operacional e do arranjo físico no Manuseio de Carvão: Um estudo de caso.

João Paulo Maraia, Áureo Emanuel Pasqualeto Figueiredo, Aldo Ramos Santos e José Carlos Morilla.
Universidade Santa Cecília – UNISANTA Programa Pós Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEMec.

Resumo: O estudo de caso aplicado neste trabalho foi realizado em uma siderúrgica de processo integrado, na área de recebimento e beneficiamento de carvão. A identificação dos elementos que limitavam a capacidade da unidade, permitiram melhorar a eficiência operacional e obter resultados significativos. O revestimento dos silos de armazenagem para mistura de carvão, com poliuretano, aumentou a capacidade de estocagem, reduzindo o ciclo de abastecimento, permitindo maior disponibilidade de máquinas para operações de descarga dos navios, aumentando a capacidade do sistema em 25%.O rearranjo no arranjo físico do sistema de correias transportadoras, reduziu em 50% o número de transportadores de correia, permitindo alcançar resultados significativos na redução no consumo de energia em 30,89%, com aumento de 18% na tonelagem horaria do sistema.

Palavras-chave: Ciclo Produtivo; Arranjo Físico; Eficiência Operacional.

Effects of changing operating cycle and physical arrangement in Coal Handling: A case study

Summary: The case study applied in this work was carried out in an integrated process steel plant, in the area of receiving and beneficiation of coal. The identification of the elements that limited the capacity of the unit, allowed to improve the operational efficiency and to obtain significant results. Coating of storage silos for

coal blending with polyurethane increased storage capacity, reducing the supply cycle, allowing greater availability of machinery for ship unloading operations, increasing system capacity by 25%. The system of conveyor belts reduced the number of belt conveyors by 50%, allowing significant results to be achieved in reducing energy consumption by 30.89%, with an increase of 18% in the hourly tonnage of the system.

Key word: Productive Cycle; Physical arrangement; Operational efficiency.

Introdução: Melhorar a produtividade de uma empresa é um dos objetivos constantes dos profissionais envolvidos em sua administração. Contudo, não raras vezes a melhora da produtividade depende não de uma maior eficiência global da atividade da empresa, e sim da identificação de problemas em seu processo produtivo: que são esses gargalos de produção, (LANGLEY, 2011).

O armazenamento e movimentação de materiais e produtos, influencia diretamente a estrutura de custo de uma empresa, (LANGUI, 2001). Dar mais eficiência ao sistema de movimentação de matéria prima, reduzindo percursos e buscando otimizar com um bom arranjo físico, é um fator importante para redução dos custos de um processo produtivo, (TAMASAUWKAS, 2000).

Nas áreas de siderurgia e mineração, a necessidade crescente de demanda acaba exigindo dos processos, melhorias nos sistemas de movimentação e transporte de insumos, (MORAN, 2016).

Objetivo: Identificar os gargalos de produção, no sistema de abastecimento dos silos de dosagem e no sistema de envio de mistura de carvão para as baterias de coque
em uma siderúrgica, apresentando as ações e resultados obtidos.

Material e métodos: O estudo e a aplicação do trabalho foi desenvolvido em uma siderúrgica. Uma empresa com alta capacidade de produção de laminados, atende ao setor automobilístico, de autopeças, máquinas agrícolas e rodoviárias, equipamentos eletroeletrônicos e tubos de grande diâmetro.

A área de implantação do projeto e a de recebimento e descarga, de carvões que são conduzidos por meio de correias transportadoras aos pátios de estocagem, onde são empilhados permanecendo, disponíveis para a recuperação, através do

desempilhamento para os silos de dosagem onde é feita a mistura de carvões para envio as baterias de coque.

O estudo identificou os gargalos em duas áreas do sistema:

a) Abastecimento dos silos de dosagem;

Com a compactação do carvão, na região inferior dos silos, impedia seu esvaziamento completo, diminuindo a capacidade efetiva do sistema. Os silos operavam em média com 120 toneladas, uma capacidade de armazenagem nos 24 silos de 2.880 toneladas de carvão para mistura.

Com a baixa autonomia do sistema, o ciclo de abastecimento dos silos era maior, exigindo maior disponibilidade de máquinas (*Stacker Reclaimers*) para operação de recuperação para suprir o sistema de dosagem.

Nestas condições, as operações de descarga de navios com carvão eram prejudicadas, devido à baixa disponibilidade de máquinas, não cumprindo a tonelagem mínima estabelecida no contrato com a embarcação, acarretando em elevadas multas por de descarga da embarcação, com multas por sobrestadia.

A decisão foi revestir, a parte inferior dos silos, com polietileno, UHMW (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*), de ultra alto peso molecular. Material com extrema resistência ao impacto, alta capacidade de absorção de energia sob altas taxas de cisalhamento, resistência a abrasão e baixos valores de resistência ao atrito.

b) No transporte de mistura de carvão para baterias de coque.

O arranjo físico das correias apresentava um número elevado de transportadores, e calhas de transferência (chutes), com dois equipamentos em local de difícil acesso, subterrâneos conforme, CT 15 e CT 16 conforme Figura 1.

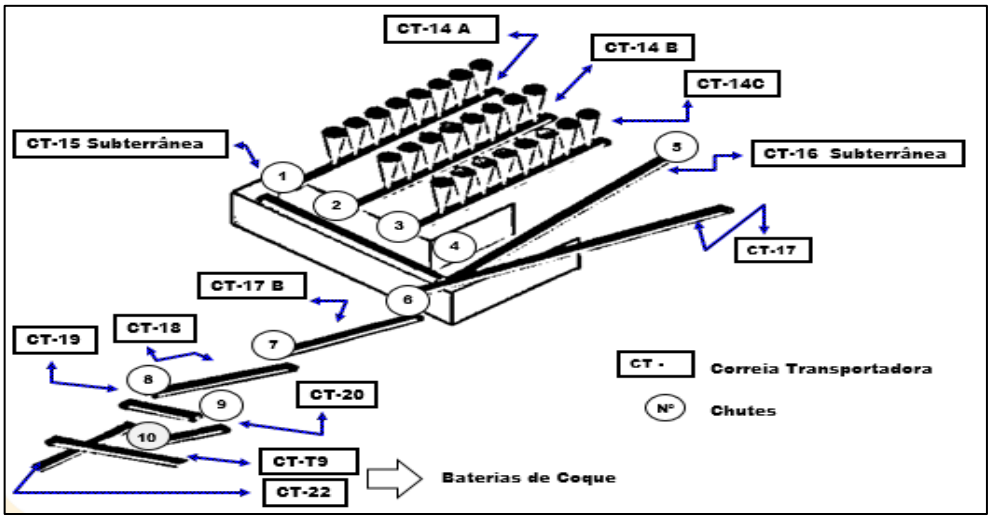


Figura 1 - Sistema de abastecimento de mistura para as baterias de coque
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas 2007

Com o elevado número de chutes, as ocorrências de parada, por obstrução eram constantes, interferindo na eficiência do sistema.

Com o manuseio de muitas toneladas de material, essas ocorrências, ocasionavam danos ao equipamento, com necessidade de reparos de manutenção, elevando os custos operacionais. Outro ponto de gargalo do sistema, o arranjo físico apresentava dois transportadores, CT-15 e CT-16, com suas estruturas subterrâneas que dificultava o acesso para manutenção e operacional, em períodos de chuva, o acumulo de água nos equipamentos era grande, e o sistema de drenagem não dava vencimento, provocando a parada do sistema. Nestas condições, o abastecimento era prejudicado, o retorno a operação exigia intervenção da manutenção e operação, com desgaste do pessoal e custos elevados.

Com capacidade dos transportadores de 450t/h de mistura de carvão não permitia o abastecimento simultâneo para as baterias de coque. Nas preventivas mensais de manutenção no sistema, a recuperação dos níveis de silo das baterias de coque era demorado, exigindo um controle operacional para dosar o envio de material para os dois sistemas de forma alternada.

O estudo de engenharia, avaliou a necessidade, de um rearranjo físico, contemplando os princípios da obediência do fluxo de operações, evitando retrocessos, cruzamentos e interrupções na produção, permitindo uma maior segurança e flexibilidade nas operações, reduzindo o número de transportadores.

Resultados: Sistema de abastecimento de carvão para os silos de dosagem.

O revestimento dos silos de dosagem com poliuretano, permitiram maior disponibilidade de máquinas para descarga de carvão, aumentando a tonelagem horária de descarga em 5.000 toneladas, conforme Figura 2.

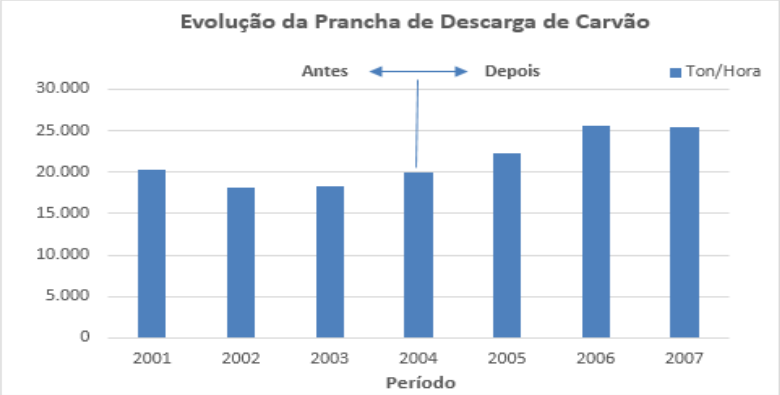


Figura 2 – Evolução da tonelagem de descarga de carvão
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas 2007

a) Sistema de envio de mistura para as baterias de coque;

Os resulta dos com o novo arranjo físico, e a diminuição do número de transportadores conforme Figura 3.

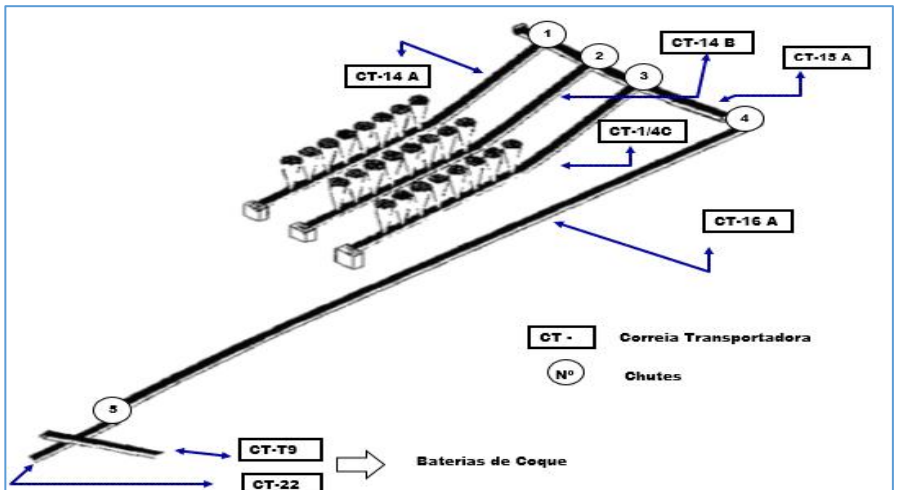


Figura 3 – Novo arranjo físico sistema de abastecimento de mistura para as baterias de coque 1e 2
Fonte: Manuseio de Carvão Usiminas 2007

Com a implantação do novo arranjo físico, diversas vantagens foram obtidas, reduzindo perdas de paradas otimizando o fluxo de transporte de mistura para as baterias de coque. A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados obtidos.

Tabela 1- Resultados com o novo arranjo físico

RESULTADOS DO SISTEMA COM O NOVO ARRANJO FÍSICO					
Itens Avaliados	Antes	Unidade	Depois	Unidades	Redução %
Correias Transportadoras	12	Conjuntos	7	Conjuntos	41
Energia	615	KWh	425	KWh	30,89
Manutenção	1100	h.h/mês	500	h.h/mês	54,55
Capacidade	450	Ton./h	550	Ton./h	18,2
Chutes	10	Conjuntos	5	Conjuntos	50

Fonte: Manuseio de carvão Usiminas (2007)

Discussão: A partir do estudo e modificações efetuadas nos sistemas obteve-se resultados significativos;

O aproveitamento da capacidade dos silos de dosagem permitiram aumento da tonelagem horaria de descarga de carvão.

O novo arranjo físico, além de reduzir em 50% o número de transportadores, os motores de acionamento eram moto variadores, foram substituídos por motores de indução convencional, obtendo uma redução no consumo de energia elétrica de 30,89%. O aumento da largura de dois transportadores permitiram aumentar a capacidade de todo sistema em 18,2%. O efetivo de mecânicos, eletricistas e soldadores para manutenção preventiva mensal, foi reduzido em 54%.

Destacam-se outros aspectos relevantes com a implantação dos projetos:

a) Maior autonomia nos silos de dosagem, com incremento de 150%.

b) Com o novo arranjo físico dos transportadores reduziram-se a complexibilidade do sistema; permitindo um fluxo mais racional, e maior segurança para operação e manutenção;

c) Transportadores CT15 e Ct16 retiradas das estruturas do subsolo.

d)Novo projeto da cobertura dos transportadores, com acesso mais seguro.

Conclusões: A decisão mais adequada, revestir o silo, somente na parte cônica, resultou de um estudo de viabilidade técnica e econômica, nas alternativas analisadas pela engenharia.

Da mesma forma o novo arranjo físico, foi uma decisão técnica e econômica, entre as alternativas de manter o projeto original fazendo manutenção ou alterar o projeto. A execução do novo posicionamento dos transportadores exigiu um planejamento de montagem e operação devido a limitação de planta parada.

6. REFERÊNCIAS

ADRIANO, I.V.; HORSSEN, W.T. Sobre as vibrações transversais de um transportador aplicado em modelos simplificados, *Jornal de Som e Vibração*, 2008.

ARAUJO, E.C.; CALIL J.C. *Silos metálicos cilíndricos: recomendações mínimas de projeto.* In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, 1995.

BRANDON, J.; MORRIS, D. *Reengenharia*: reestruturando sua empresa. São Paulo: Makron Book, 1994.

BRANDT, W. Mineroduto Ferrous Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santos – *Meio Ambiente – Estudo de Impactos Ambientais* (EIA) – FerrousResources do Brasil S.A. Mova Lima. 2010.

CALIL, J.C.; CHEUNG, *A.B. Silos*: Pressões, fluxos, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: EESC.2007.

CAMAROTTO, J.A. *Projeto de Unidades Produtivas*. Apostila Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2006.

CANNAVACCIUOLO, A; BARLLETA, D.; DONSI, G.; FERRARI, G.; POLETTO, M. *Arco de fluxo livre em silo aerado de pós coesivos*. Power Technology, 2009.

CARLO, F.D.; ARLEO, M.A.; BORGIA, O.; TUCCI, M. *Layout desing for a low capacity manufacturing line*: a case study. International Journal of Engineering Business Management Special Issue on Innovations in Fashio industry, 2013

CARVALHO, R.; sarros, s. *Vulcanização de correias transportadoras I*D Projetos Educacionais Vale, Rio de Janeiro, 2009.

COX III, J.F. & SPENCER, M. S. *Manual da Teoria das Restriç*ões. Porto Alegre: Bookman, 2002.

ELETROBRAS. *Correias Transportadoras*: guia básico. Brasília: IEL/NC, 2009.

EUROPEAN COMMITEE FOR STANDARIZATION.EN 1991-4: *eurocodigo ações em estruturas, silos e tanques*. Bruxelas, 2006.

FEDORKO, G., IVANCO, V. *Analysis of force ratios in conveyor belt of classic belt conveyor,* Procedia Engineering, v. 48, p. 123 – 128, 2012.

FREITAS, E.G. A. *Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Estrutura) Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

GAVI, J.P. *Manual de inspeção e manutenção de correias transportadoras*. Vitória 2009.

GOLDRATT, E.; FOX, J. *A meta*: um processo de aprimoramento contínuo. São Paulo: Educador, 1997.

HAZIR, O.; & DOLGUI, A. (2014), *Robust assembly line balancing*: state of the art and new research perspectives (Cap. 9, pp. 211 – 213). Hauppange, NY: Nova Science Publischers.

HORTA, M.; *Layout Design Modelling For Real World Just – in – Time Warehous*e, Computers & Industrial Engineering 101 – 9, 2016.

JENIKE, A. W.; JOHANSON, J.R. *Cargas revista de divisão estrutural, New* Yourk, 1968.

JONES, G.R.; GEORGE, J.M. *Administração Contemporânea*. 4ª edição. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

KAMARUDDIN, S.;KHAN,A.Z.; SODDOQUEE, A.N.; wong, y.s. *The impact of variety of orders and differente num ber of workers on production scheduling performance*:A simulation approach. Journal of Manufacturing Techonolgy Management, v. 24 n.8, p. 1123 – 1142, 2013.

KIM, J. 2016, *Semiconductor FAB Layout Design Analysis* With 300 – Mm FAB Data: "Is Minimum Distance – Based |Layout Design Best For Semiconductor FAB Desugb?"Computers & Industrial Engineering 99 330 - 346

KEHI, G.A. *Projeto de silo cilíndrico de concreto armado para armazenamento de arroz, 2015*. Dissertação (Graduação em Engenharia Agrícola) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

LANGLEY, G.; MOEN.R.D.; NOLAN, K.M.; NOLAN, T.W. *Modelo de melhoria, nova abordagem prática para melhorar o desempenho organizacional.* 1ª edição, Mercado de Letras Edições e Livraria Ltda. S.P. 2011.

LANGUI, C.A. *Pontes Rolantes a importância do equipamento nas áreas de produção industrial – Pontes rolantes*, Monografia (MBA em Gerência Empresarial) – Departamento de Economia, Contabilidade, Administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

LOPES, J. P. N*. Análise teórica experimental das forças verticais e de atrito em silos cilíndricos.* 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo) – Universidade de Campina Grande, 2009.

MAROUELI, C.A. *Gargalos de Produção.* 2008. Disponível em <http://www.administradores, com.br / informe-se / artigos / gargalos – de produção/21678/>

.

MECKLENBURGH, J.C. *Leiaute da planta de processo* Editora London; New York: Longman, 1985.

MORAN SEAN. *Process Plant Layout* 2ª edição Elsevier 2016.

MERCÚRIO. *Manual Técnico de Correias Transportadoras*. Itu: Schoba, 2015.

MOREIRA, D. A. *Administração de Produção e Operações* Editora Saraiva SP, 2018.

MORRIS, Daniel, Brandon.Joel.*Reengenharia*: reestruturando sua empresa. São Paulo: Makron Books,1994.

MORRISON, D.J. *O uso de materiais contínuos de manipulação em uma mina de minério de ferro de corte aberto conferência*, Perth Austrália 2007.

MUTHER, R. *Planejamento do leiaute:* sistema SLP. São Paulo: Edgard Blucher, 1978.

NASCIMENTO, F.C. *A relação entre as pressões horizontais e verticais em silos elevados*: o parâmetro K.2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

NETO, T.J.P. A. *Política Nacional de Resíduos Sólidos. Os Reflexos nas Cooperativas de Catadores e a Logística Reversa,* Canoas,2011. Disponível em http://www.revistas.unilasalle.edubr/index.php/Dialog/article/view/104/121.

PARANHOS, F.M. *Gestão da Produção Industrial*. Curitiba:IBPEX, 2007.

PESSOA, P. F. A.P; CABRAL, J.E.O. *Identificação e análise de gargalos produtivos: impactos potenciais sobre a rentabilidade empresarial*. Porto Alegre: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção 2005.

PINTO, H. *Avaliação da aplicação de norma ACI-313/1997 no dimensionamento de silos multicelulares elevados de concreto armado para café.* 2010. Dissertação (Pos graduação em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

RAVENET, J. *Silos*. Barcelona: Laser Foto composicion, 1992.

ROCHA, D. *Fundamentos Técnicos da Produção* SP Editora Makron Books do Brasil 1996.

SACRAMENTO, R.C.F. *Apostila de Transportadores de Corre*ia. Universidade Federal da Bahia- UFBA, Salvador BA, 2010.

SANTOS, L.C.; GOHR, C.F. URIO, L.C. *Planejamento Sistemático de Leiaute em uma fábrica de baterias automotivas,* Simpósio de Engenharia de Produção, Nov. 2011.

SELEME, R. *Métodos e Tempos Racionalizando a Produção de Bens e Serviços*, uma abordagem gerencial Editora IBPEX Curitiba - PR, 2009.

SHAHIN, A.; POORMOSTAFA, M. *Simulação de leiaute de instalações e potencialização e integração de ferramentas e técnicas avançadas de qualidade* e tomada de decisão ciência aplicada moderna, 2011.

SHEWALE, P.P.; SHETE, M.S.; SANE, S.M. Melhoria no leiaute da planta usando planejamento sistemático do leiaute SLP para aumentar a produtividade. *Jornal Internacional de pesquisa avançada de engenharia e estudos*, 2012.

SHINGO, S.B. *O Sistema Toyota de Produ*ção do Ponto de Vista da Engenharia de Produção, 1996.

SILVA C.S.; MORAIS, M.C.; FERNANDES, F. A. *A practical methodology for cellular manufacturing systems desing* – Na industrial study Transaction on Control and |Mechanical Systems, 2012.

SILVA, M. C. A. T. *Estudo da variabilidade das pressões em silos.* 1993. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SILVASANKARAN, P., & SHAHABUDEEN, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (9 -12), 1665 – 1694.

SINGH, A. P.; YILMA, M. Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company. In: IEEE International *Conference on Control, Decision an Information Technologies. CoDIT, Hammamet, Tunisia:* p. 822 – 828, 2013.

SLACK, N. CHAMBERS, S., JOHNSTON, *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 2009.

TAMASAUSKAS, *A. Metodologia do Projeto Básico de Equipamento de Manuseio e Transporte de Cargas – Ponte Rolante – Aplicação não siderúrgica.* Dissertação de mestrado – Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2000.

TOLEDO JR., I.F.B*. Leiaute – Arranjo Físico*. 9 ed. São Paulo: Itus Fides, 2007.

ULHOA,M.B. *Coqueificação em baterias de fornos horizontais*. São Paulo:ABM, 2005.

USIMINAS, *Referente a relatório técnico, Reforma do Sistema C,* Manuseio de Carvão, 2004 e 2007.

WATANAPA, A.; WIYARATN, W. Systematic layout planning to assist plant layout: *case study pulley factory. Applied Mechanics and Materiais,* 2011.

WILLS, B.B., &NAPIER-MUNN, T. *Tecnologia de Processamento Mineral*- 7ª Edição. Elzevir Science & Technology Books, 2006.

ZHANG, S., XIA, X. *Modeling and energy efficiency optimization of belt conveyors*, Applied Energy, v. 88, p. 3061–3071, 2011.

XIE, W. & SAHINIDIS, N.V. *Um algoritmo branch-and-bound para o problema de leiaute de instalação contínua*. Computers & Chemical Engineering, 2008.

YANG, T.; SU, C.; HSU, Y. Planejamento Sistemático de leiaute um estudo de sobre instalações de fabricação de wafer semicondutoras. *Revista Internacional de Gestão de Produção de Operações*, 2000.

YAZAKI, K. *Planejamento e programação de suprimento de carvões em uma usina siderúrgica a coque. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)* – Departamento de Engenharia Industrial, Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, R.J. 1991