

**ESTUDO DE LAYOUT COM APLICAÇÃO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO
PARA ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO EM UMA EMPRESA DE
MINERAÇÃO NA REGIÃO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES**

**STUDY OF LAYOUT WITH APPLICATION OF MODELING AND SIMULATION
FOR ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROCESS IN A MINING COMPANY IN
THE CACHOEIRO REGION OF ITAPEMIRIM – ES**

Antonio Saulo Júnior Vianna

Felype Altoé Delazaro

Luan Gorone Favero¹

Eder Reis Tavares²

Valderedo Sedano Fontana³

RESUMO

A partir do desejo de entender o comportamento de indústrias de mineração, com presença muito ampla no estado do Espírito Santo, principalmente na região sul, neste trabalho objetivou-se o estudo do processo produtivo de uma empresa de beneficiamento mineral sediada em Cachoeiro de Itapemirim - ES. Foi aplicada uma simulação usando o *software Arena* a fim de identificar possíveis gargalos no processo de produção de calcário agrícola, produto utilizado para correção de acidez do solo e aplicado o conceito de Pareto com o propósito de analisar as ocorrências da produção correlacionadas com o estudo do layout. A presente pesquisa possui característica de estudo de caso e os métodos de identificação dos dados foram através de visitas na empresa e reuniões com os gestores. Após toda análise e estudo, verificou-se que a operação é sustentável e o índice de ociosidade é baixo, apesar de ocorrerem filas em alguns processos. Porém, foi sugerido à organização que realize estudos mais amplos dos processos e apliquem melhorias para que o desempenho da planta seja elevado.

¹ Graduandos do Curso de Engenharia de Produção da Multivix Cachoeiro de Itapemirim-ES,

² Mestre e Graduado em Engenharia de Produção pela UENF. Professor do Curso de Engenharia de Produção da Multivix Cachoeiro de Itapemirim-ES, ederreistavares@gmail.com.

³ Mestre em Pesquisa Operacional e Inteligência Computacional. Pós-Graduado em Informática na Educação e Gestão Empresarial. Graduação em Engenharia de Produção, Ciência da Computação, Matemática e Física. Coordenador e Professor na Multivix Cachoeiro de Itapemirim-ES

Palavras-Chave: *Layout*. Processo. Calcário

ABSTRACT

From the desire to understand the behavior of mining industries, with a very wide presence in the state of Espírito Santo, mainly in the southern region, this study aimed to study the production process of a mineral processing company headquartered in Cachoeiro de Itapemirim - ES. A simulation was applied using the Arena software to identify possible bottlenecks in the production process of agricultural limestone, a product used to correct soil acidity and applied the Pareto concept in order to analyze the occurrences of production correlated with the study of the layout. The present research has characteristic of case study and the methods of identification of the data were through visits in the company and meetings with the managers. After all analysis and study, it was verified that the operation is sustainable and the index of idleness is low, although there are queues in some processes. However, it has been suggested that the organization conduct broader process studies and apply improvements to make plant performance high.

Keywords: *Layout*. Process. Limestone

1 INTRODUÇÃO

Para Peinado e Graeml (2007), as organizações precisam se atualizar perante as mudanças que ocorrem no ramo que as mesmas estão inseridas. Estas mudanças quando bem aproveitadas, podem colocar as empresas no topo ou podem extingui-las do mercado. Para se preparar para as mesmas, os gestores das organizações precisam conhecer sua operação com base no estudo do layout e processo produtivo. Assim, podem detectar as dificuldades e promover ajustes. Nota-se que o mercado atual necessita cada vez mais desse estudo a fim de aplicar melhorias e implementar novas tecnologias, promovendo uma eficiência produtiva e ampliando o horizonte comercial da organização. Para uma empresa que conhece de forma analítica seu processo produtivo, percebe-se que é extremamente vantajoso, pois uma tomada de decisão pode basear-se nesses detalhes.

Prado (2004), aponta que alinhado ao estudo do processo e ao *layout* da operação industrial, existe a simulação dos eventos discretos que objetiva a partir do desenho

da estrutura simular o processo produtivo, pois diferentes arranjos impactam no tempo de processamento do produto. Ferramenta importante do estudo de simulação e aplicada nesse presente artigo é *software Arena*, que é uma soma de processos e *layout* com objetivo de minimizar os impactos de testes de sistemas produtivos. Nesse contexto, a abordagem desse artigo é o estudo do *layout* e simulação do processo produtivo de uma empresa de beneficiamento de rochas calcárias. A mesma não autorizou a divulgação do nome. A organização está inserida no município de Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo e atende todo o Brasil em diversos ramos de mercado. Atualmente conta com três centros de trabalho, sendo que o foco da pesquisa é o beneficiamento de produtos para aplicação em agricultura. Para desenvolvimento do estudo foram realizadas visitas a empresa com intuito de entender a dinâmica do processo, o *layout* da planta e também obter informações sobre os tempos de operação. Com base nos dados obtidos, usou-se o *software Arena* para simulação com objetivo de encontrar resultados sobre o tempo de processamento e quantidade processada de acordo com as parametrizações e identificar possíveis gargalos no processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa buscou-se explanar as principais ideias sobre um sistema produtivo, tendo ênfase nos tipos de arranjo físico que basicamente mostram o *layout* do chão de fábrica, que também tem influência direta com processo produtivo adotado pela entidade. No qual, a partir de um estudo mais aprofundado sobre o arranjo e o processo, é possível colher dados mais específicos para um melhoramento da produtividade. Para realizar um estudo de arranjo físico e posteriormente a aplicação de uma simulação, é necessário reconhecer qual processo se utiliza em meio ao setor produtivo.

2.1 Evolução do Conceito de Arranjo Físico

O conceito de arranjo físico sofreu mudanças durante os anos, acompanhando a evolução do mercado e os conceitos de fabricação. A primeira fase é anterior a década de 50, caracterizada por uma etapa de estudos de casos isolados, sem uma metodologia bem definida. O assunto ganhou mais significado técnico com a

publicação de trabalhos realizados em 1947 e dessa forma adquiriu uma importância relativa nos meios acadêmicos e industriais. Com a evolução dos sistemas modernos de gerenciamento, os arranjos físicos passaram a ser mais flexíveis. Antes um arranjo bom era definido como aquele que ocupava toda a área do centro de trabalho, agora, bons são aqueles que conseguem se adaptar às mudanças que o mercado impõe no setor industrial (VILLAR; NOBREGA; 2014).

Objeto principal de estudo deste trabalho, vários autores trazem a definição de arranjo físico. Segundo Tompkins (2002), o *layout* é caracterizado pela disposição de todos os itens envolvidos em um processo produtivo. Itens esses como máquinas, estações de trabalho e todo equipamento de suporte de chão de fábrica. Todos esses fatores que, na maioria das vezes, possuem pessoas envolvidas no processo direta ou indiretamente. Para a ASME – *American Society of Mechanical Engineers* apud Maynard (1970), arranjo físico é a alocação dos itens em certa área, como estradas, departamentos, equipamentos, peças e corredores. Essa definição é mais antiga e mais ampla, porém importante para o conhecimento inicial do *layout*. Machline (1979) apresenta um conceito semelhante, porém acrescenta o fluxo do trabalho como informação importante para estudo e definição de um arranjo físico. Villar e Nobrega (2014) apresentam uma versão mais atual e conceituam que o *layout* é um estudo de sistemas que traz uma combinação ótima das instalações industriais.

Todas as definições acompanham o período histórico em que elas estão inseridas, portanto, não existe caracterização errada e sim conceitos que representam o momento em que o mercado passava e o conhecimento técnico da época. Um ponto importante em todos os períodos que Villar e Nobrega (2014), apresentam é que o roteiro de produção (matéria – prima, sequência de operações, postos de trabalho) e os serviços de suporte (manutenção e áreas de depósito) antecedem a definição e elaboração do *layout* da planta. Portanto, é preciso de um bom planejamento para que o arranjo físico seja ótimo.

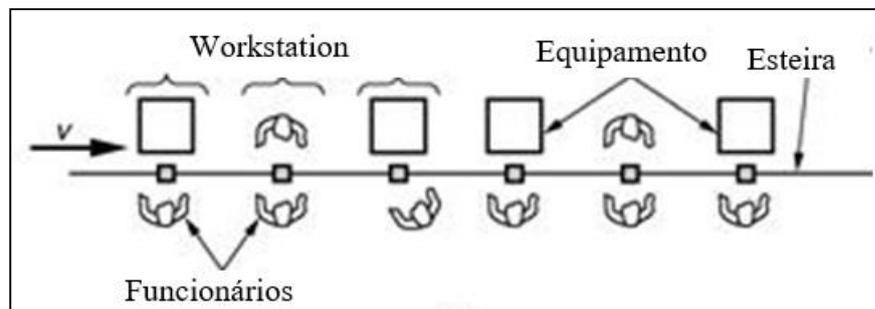
2.2 Tipos de Arranjo Físico

Conforme apresentado anteriormente, para definição do arranjo físico é necessário um conhecimento sobre toda a operação envolvida. Através disso, define-se qual o

tipo de arranjo se adequa a operação. Peinado e Graeml (2007), estabelecem que tipos de *layout* que podem ser aplicados:

a) Arranjo físico por produto: A orientação é que o produto se mova em meio a linha de produção, dessa forma os postos de trabalho encontram-se fixos, de acordo com a sequência de produção. Normalmente este modelo é utilizado quando há um grande volume de produção (produção em massa ou produção contínua), consecutivamente apresentando uma alta produtividade. Como demanda muitos equipamentos que transportam o material, é necessário realizar altos investimentos e apresenta uma produção pouco flexível. Para que haja uma produção equilibrada entre os postos de trabalho, é necessário que as tarefas ali executadas apresentem aproximadamente o mesmo tempo de execução. Um exemplo é a montagem de automóveis, no qual uma mesma sequência de processos é usada para completar cada modelo;

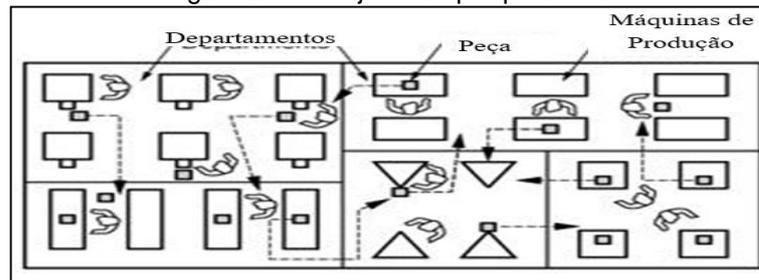
Figura 1 – Arranjo físico por produto.



Fonte: Autoria desconhecida.

b) Arranjo físico por processo: Todos os equipamentos realizam as mesmas tarefas e processos em uma mesma área e dessa maneira o material que sofrerá transformação se desloca para os processos demandados, de acordo com a necessidade da produção. Este modelo apresenta uma produtividade menor do que o arranjo físico por produto, porém demanda menor investimento para sua montagem e possui uma maior flexibilidade. Por exemplo um supermercado, que é dividido em setores de: legumes e frutas, frios e bebidas.

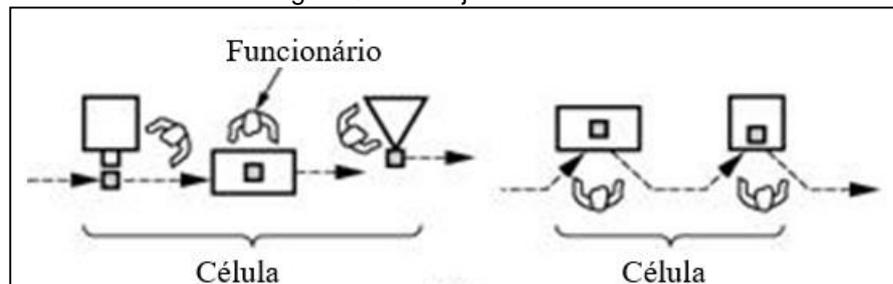
Figura 2 – Arranjo físico por processo.



Fonte: Autoria desconhecida.

c) Arranjo físico celular: Foi baseado nas vantagens dos dois arranjos anteriormente citados. Sua principal utilidade é que apresenta em uma única área todas as máquinas e os processos que o material necessita sofrer para ser entregue pronto. Os materiais se deslocam em meio ao setor produtivo para buscar os processos que precisam sofrer, mas o deslocamento é realizado em forma de linha. Esse tipo é uma solução mais atual em função da redução dos tempos de *setup* e tamanho dos lotes de produção, alguns exemplos: Empresa de calçados, autopeças e bancos;

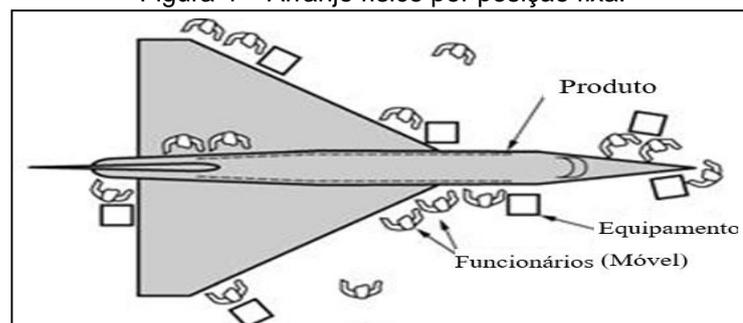
Figura 3 – Arranjo físico celular.



Fonte: Autoria desconhecida.

d) Arranjo físico por posição fixa: É realizado quando o produto a ser fabricado se encontra fixo e os processos e as máquinas que circulam ao seu redor. Conceito aplicado na fabricação de grandes equipamentos. Um exemplo clássico seria a montagem de aviões.

Figura 4 – Arranjo físico por posição fixa.



Fonte: Autoria desconhecida.

e) Arranjo físico misto: Encontram-se dois ou mais modelos de arranjo em meio ao setor produtivo. Um exemplo seria um hospital, no qual cada setor utiliza um tipo de arranjo, a sala de cirurgia é posicional e o laboratório é por processo.

Entender os tipos de arranjo é essencial para um estudo de qualquer processo produtivo. Com esse entendimento, pode-se identificar os gargalos de produção que segundo Davis et al (2003), são restrições que determinam o desempenho do sistema produtivo, influenciando em sua lucratividade. Segundo Pessoa (2003), os gargalos limitam a utilização da capacidade total da empresa, conseqüentemente aumentando o tempo de processamento, custo de operações, também influenciam na qualidade, na produtividade e na seqüência dos processos de produção. Logo, se uma empresa possuir um gargalo de produção, a mesma pode estar aumentando seus custos e deixando de usar a capacidade total disponível na planta. Como cada tipo de arranjo tem sua particularidade, a disposição dos elementos da empresa difere em cada tipo de processo, e desta forma, todos os fatores de uma planta produtiva são levados em consideração, desde um bebedouro até uma máquina da produção, e para que isto ocorra é necessário conhecer os processos da indústria.

2.3 Processos

Muitas empresas querem estruturar-se em processos, porém não tem conhecimento claro sobre tal assunto. Assim apresenta Gonçalves (2000), defendendo que os empreendimentos preparados para o mercado possuem seus processos desenhados e elaborados ao contrário dos tradicionais do mercado, na qual o principal objeto é agradar o cliente. Para Harrington (1993), processo é um conjunto de atividades que entrega um *input* a um cliente adicionando valor. Já para Hammer e Champy (1994), indica que é uma seqüência de atividades sob uma ordem lógica, a fim de produzir um bem ou serviço para determinado cliente. Por fim, Falconi (2013), apresenta que os processos seguem uma linha vertical, ao contrário das operações, que se mantêm em uma linha horizontal. Nota-se que operações e processos dentro de qualquer planta estão interligados e a coexistência dos dois chega-se ao *output*. Conhecer sobre o processo é importante para o estudo de *layout* e simulação. Entender qual o caminho seguir e o que deve ser entregue ao cliente são cruciais, possibilitando uma visão ampla do negócio em estudo.

2.4 Simulação

Segundo Banks (1998), simulação é como imitação de uma situação em um determinado intervalo de tempo. Já para Law e Kelton (1999), simulação é o processo de expor um modelo computacional de determinada situação com objetivo de entender seu funcionamento e analisar os resultados sobre diferentes cenários. Ryan e Heavey (2006), estabelecem que simulação é uma técnica para estudo de sistemas através da utilização de modelos em uma escala menor do que a realidade. Esta também pode ser por computador, na qual é alimentado com dados do sistema real criando um cenário usado para os testes de teorias desejadas.

Na atualidade houve um grande crescimento da utilização do método de simulação, principalmente nos EUA, Japão e Europa. No Brasil está presente nos ambientes das grandes empresas desde 1970. A aplicação se dá pelo avanço da tecnologia, pela sua aplicabilidade e os resultados que o mesmo trás. Outro fator relevante na simulação é o fato de que é possível apresentar uma realidade em um sistema virtual. Além de sua flexibilidade, expõe a variabilidade do sistema, gerando resultados de acordo com os parâmetros utilizados, além de fazer com que o sistema real seja melhor compreendido (PRADO, 2004).

Segundo Ramos Neto (2003), os modelos de simulação são indicados para serem utilizados em sistemas que possuam variáveis estocásticas, que oscilam sem uma predefinição, no qual não se pode ter parâmetros para identificá-las, desta forma sendo aleatórias. Através destes modelos, é possível analisar vários sistemas para as tomadas de decisão. A simulação possui grandes vantagens sobre outras técnicas que dão suporte à tomada de decisão, que é a observação estocástica (variabilidade) dos sistemas analisados que não são observados por outros métodos. Além desta, o método também possui outras vantagens que influenciam em sua escolha: Permite realizar e testar várias mudanças no sistema sem interferir na realidade, eliminando desperdício de tempo e das tomadas de decisão incoerentes com a operação; possibilita a observação dos testes em simulações de longo prazo, uma vez que, se observe muito tempo em poucos minutos; possibilita na criação de novos sistemas e análises antecipadas de sucesso ou insucesso, com baixo custo.

Com base nas definições dos autores, um dos pontos que mais chama a atenção no uso da simulação é o baixo custo. Apesar de exigir profissionais capacitados para desempenho dessa função, ainda se torna vantajoso para grandes empresas. O motivo é que o uso dessa ferramenta reduz a margem de erro em projetos industriais e ainda o volume de testes antes do início da execução e apoia na configuração e definição do melhor *layout* de operação.

3 METODOLOGIA

Unificando o estudo de *layout*, processos e simulação, existe o *software* Arena. Importante programa para simulação de processos discretos e estudos de *layout*. Sua origem a partir da fusão de dois outros programas, SIMAN e o CINEMA. O SIMAN é uma linguagem de simulação, que em 1983 deu nome ao primeiro programa de simulação para computadores, já o CINEMA surgiu em 1984, onde foi o primeiro programa para animação das simulações. Esta fusão foi gradativamente sofrendo mudanças e consecutivamente melhorando. No ano de 1993, foi realizado a junção dos dois programas, e assim surgiu o Arena. A aplicação contém diversos recursos para modelagem, animação, análise de resultado e entre outras, e também apresenta um ambiente gráfico integrado de simulação. Para o *software* executar as simulações, o mesmo utiliza a abordagem por processos. Este tipo de simulação vem através de elementos estáticos, que formam um ambiente consideravelmente definido, com regras e propriedades, onde as mesmas interagem com elementos dinâmicos, que executam as funcionalidades no interior deste ambiente (PRADO,2004).

Prado (2004) ainda destaca que o *software* conta com a presença de um conjunto de módulos que são utilizados para realizar uma aplicação baseada na realidade, que funcionam como linguagem de programação. As entidades representam tudo o que se move dentro do sistema e são consideradas elementos básicos da modelagem; nas estações são realizados os trabalhos ou as transformações; e o fluxo é o trajeto que as entidades irão percorrer ao longo das estações. O Arena como os demais programas de simulação, visualiza o sistema simulado como um conjunto de estações que prestam serviços. Vastamente utilizado em variados ambientes, desde produção a logísticos.

Outra ferramenta aplicada no presente estudo foi o gráfico de Pareto. Segundo Peinado e Graeml (2007), o diagrama de Pareto mostra a tamanha importância de todas as variáveis envolvidas na problemática. Sua visualização é através de meios gráficos, na qual é possível observar a participação de cada variável em meio ao problema, sendo exibido em percentual. Esse diagrama é representado por um gráfico de barras de fácil visualização, defendendo o ideal de Pareto, em que 80% das consequências advêm de 20% das causas. O propósito deste, é priorizar a resolução das variáveis mais problemáticas em primeiro plano.

A pesquisa foi realizada na empresa citada, e possui características de um estudo de casos. O estudo desenvolvido, é definido como uma pesquisa aplicada, para Silva e Menezes (2003), este tipo de estudo busca gerar conhecimentos para posterior aplicação a fim de gerar resoluções para problemas. A pesquisa tem caráter quantitativo, pois os valores são mensuráveis. Desta forma, pode-se citar de forma numérica e gerar informações, para posterior análise. Segundo Gil (1991), como meta, classifica-se esta pesquisa como exploratória, que consiste na realização de um estudo para familiarização do pesquisador. Ainda segundo o mesmo, pode-se classificá-la como pesquisa experimental, pois nesta se define as metas, na qual através da seleção das variáveis que podem influenciar no estudo, indicam a forma de controle e observação dos efeitos das mesmas sobre as metas.

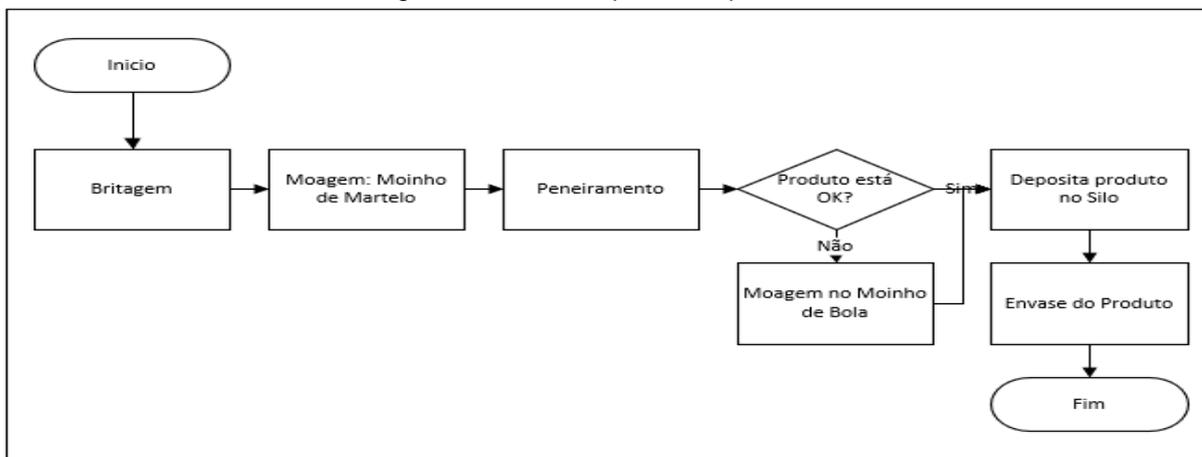
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa em estudo está presente no mercado de rochas calcárias há muitos anos. É considerada uma indústria de base e grande porte e está localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES. A produção de calcário agrícola ocorre por um processo de trituração da rocha até determinado tamanho médio de partícula para atendimento das necessidades dos clientes. Além disso, são observadas as especificações químicas da rocha que determinam se é um material calcítico ou dolomítico. Essa diferenciação ocorre durante a formação da rocha. Conforme aponta Sampaio e Almeida ([s.a]), a rocha dolomítica possui um alto teor de $MgCO_3$ e a rocha calcítica um alto teor de $CaCO_3$ e cada tipo de material possui uma aplicação específica em vários mercados. A organização em estudo oferta dolomita e calcita processada como carbonato de cálcio natural para mercados de tintas e polímeros; e

calcário para a linha de siderurgia e agrícola. A indústria possui um grande parque industrial, portanto foi escolhido a planta responsável pela produção de calcário agrícola, usado para correção de acidez do solo

O centro de trabalho escolhido possui uma capacidade média 12.500 toneladas por mês de produção de calcário agrícola dolomítico. A mesma pode variar, pois o formato de atendimento é *make to order*, que nas palavras de Correa et al (1997) apud Pacheco e Candido (2001), afirmam que toda a produção ocorre a partir da chegada de um pedido do cliente. Possui como vantagem a possibilidade de trabalhar com estoques baixos de produtos acabados, porém pode prejudicar o prazo de entrega em um mercado que exige rapidez e agilidade. Além dessa característica, a fábrica possui uma produção baseada no conceito *Just in time*. Todos produtos são produzidos e em sequência expedidos sobre os veículos de transporte. Portanto, os produtos após envasados, não vão para uma área de espera para o carregamento. Para que isso ocorra e gere o mínimo de estresse para o cliente, a empresa possui o programa denominado “programe e carregue”, na qual há um envolvimento total da área comercial, logística e produção para que a expedição ocorra de forma eficiente. Abaixo, verifica-se a figura 5 que representa o processo em um fluxograma de blocos que, conforme define Arioli (1998), são os mais simples para descrever as atividades do processo. Este é um dos passos iniciais para entendimento e mapeamento do processo para posterior simulação.

Figura 5 – Fluxo do processo produtivo.



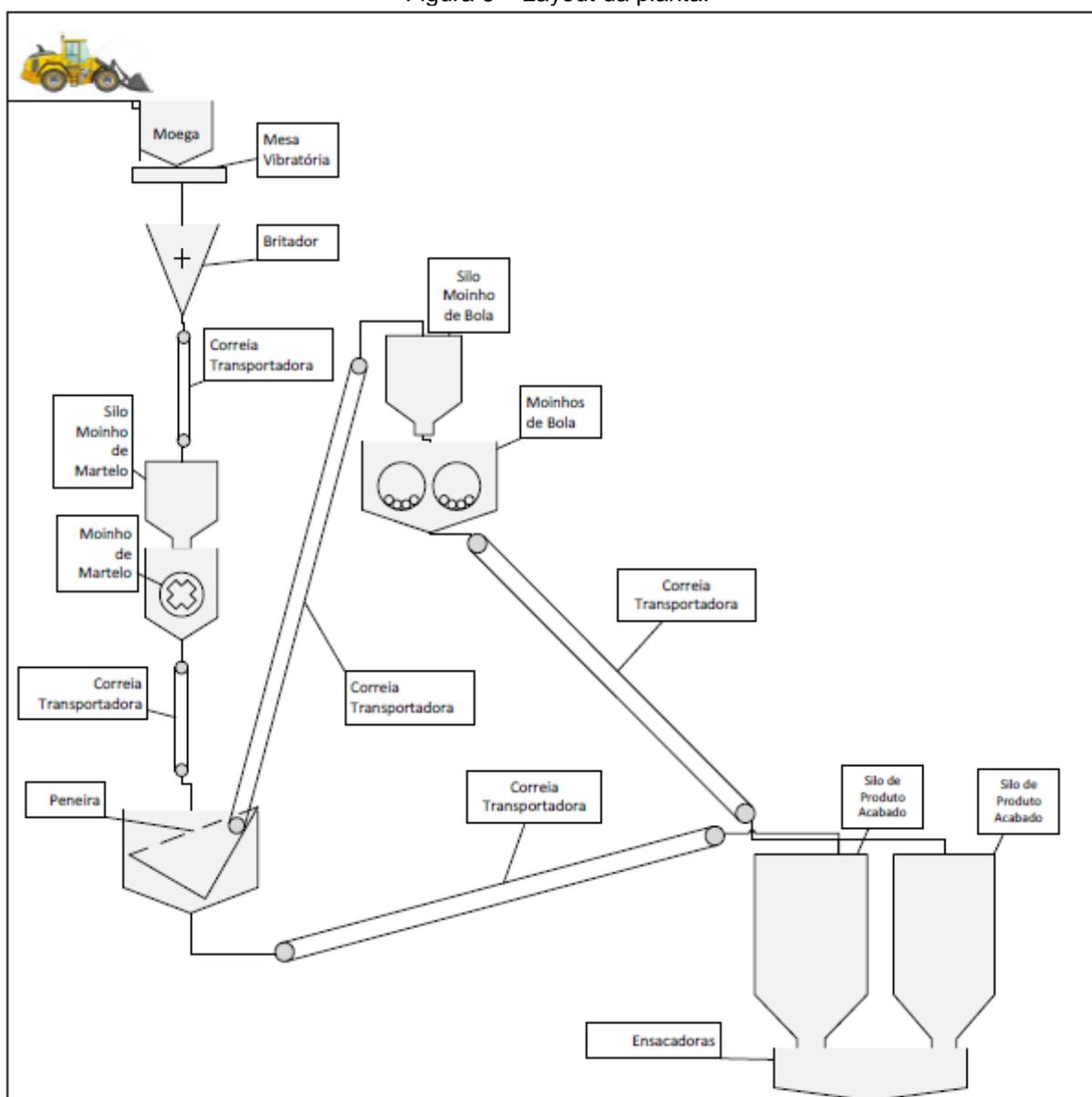
Fonte: Autoria própria, 2018.

O processo em si consiste em reduzir o tamanho das rochas. No pátio de matéria prima, a pá carregadeira coleta o material e o deposita na moega do britador situado

no processo denominado Britagem. O diâmetro médio da rocha no pátio de estocagem possui 400 mm. Na britagem a rocha é esmagada e há uma redução considerável para um tamanho médio de 63,5 mm. O material britado é levado por correias transportadoras até o processo de moagem com a utilização do moinho de martelo. O moinho de martelo tritura a rocha até reduzi-la a tamanho de partículas que podem chegar até 2 mm. Em sequência, o material é transportado também através de correias até o processo de peneiramento. Através de uma peneira com malhas de aberturas de *mesh* 20 ou no sistema internacional de medidas 0,841 mm, faz-se uma seleção do material. O material que é passante nessa peneira, cerca de 15%, segue para o silo de produto acabado para posterior envase nas ensacadoras, já o material que ficou retido, segue para os dois moinhos de bolas, que reduz o tamanho de partículas para aproximadamente 0,297 mm e em sequência depositado no silo de produto acabado. Nota-se que após a passagem pela peneira há dois tipos de produtos com tamanhos diferentes, porém quando os dois se juntam no mesmo silo de produto acabado, faz-se uma mistura sobrepondo camadas.

Finalizado todo o processo de trituração e armazenagem no silo, o próximo processo é o envase do produto. Realizado através do uso de duas ensacadoras, operadores enchem o produto em sacos de rafia de 50 Kg. Durante a visita a planta e reuniões com a equipe de operações, um fato que chamou a atenção foi que após a moagem nos moinhos de bolas o material não passa novamente por uma peneira para verificar se a granulometria está dentro dos padrões. Após o questionamento, foi informado que ao passar pelos moinhos de bolas o produto já está abaixo do *mesh* 20, portanto não existe necessidade de reprocessamento em peneiras, porém são feitas análises no laboratório para definir se o tamanho da partícula está no padrão, além das análises químicas a fim de garantirem a qualidade produto acabado. Abaixo a figura 6 retrata o *layout* da operação.

Figura 6 – Layout da planta.



Fonte: Autoria própria, 2018

O *layout* elaborado a partir do software Microsoft Visio, detalha como é o processo de fabricação e as posições dos equipamentos. A partir de uma visão geral, o arranjo é simples e bem estruturado. Nota-se que o processo produtivo possui um arranjo físico por produto, onde todos os equipamentos são colocados em linha e o produto percorre as diferentes etapas produtivas. A partir de uma visão macro, percebe-se que o arranjo se adequa perfeitamente ao processo considerando que há um grande volume de produção e pouca variedade de produtos, porém para uma análise mais crítica da operação é necessário a simulação do processo a fim de identificar gargalos de produção, se o posicionamento é o mais indicado e se há ou não equipamentos subutilizados na operação.

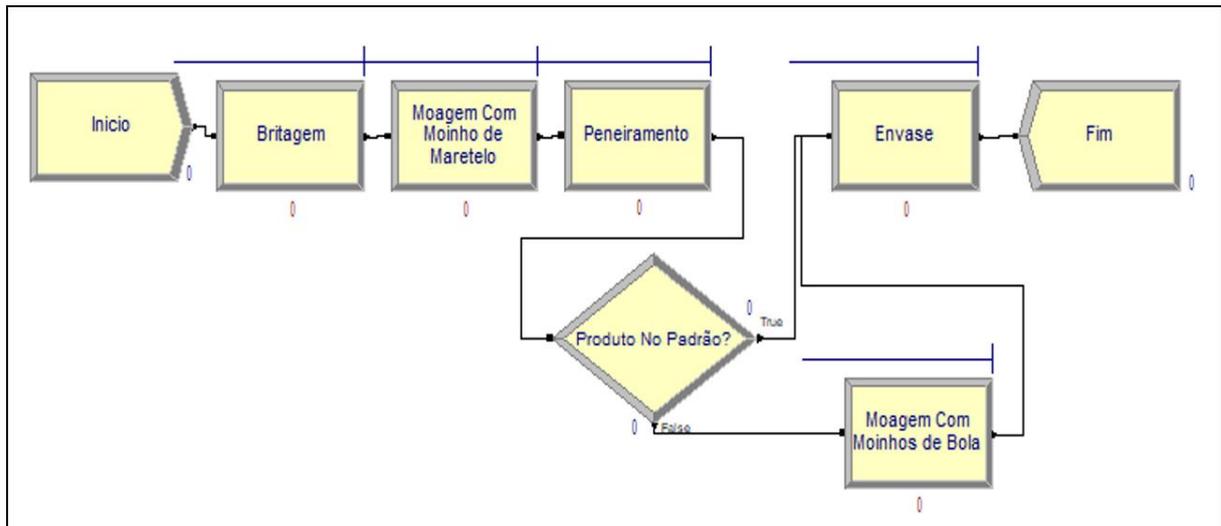
Para simulação do processo foi usado o *Software Arena*. Para isso necessitou-se de informações de quanto tempo é gasto em cada setor para o beneficiamento do produto. Esses dados foram coletados com os responsáveis da empresa e são valores históricos da operação com base nos registros diários do controle de produção. Com isso, pode-se calcular a capacidade dos equipamentos de cada setor observada na tabela 1. Foi considerado o tempo gasto para beneficiar 1 tonelada de rocha.

Tabela 1 – Tempo de produção por etapa.

Setor	Tempo Mínimo (min)	Tempo Médio (min)	Tempo Máximo (min)
Britagem	1,33	1,60	2,00
Moagem com moinho de martelo	1,33	1,41	1,50
Peneiramento	1,33	1,60	2,00
Moagem com moinhos de bolas	1,71	1,90	2,13
Envase	2,00	2,31	2,73
Entrada da rocha	1,33	1,60	2,00

Fonte: Empresa em estudo, 2018.

Com os valores definidos foi observado que a função triangular é a que melhor representa o ritmo de produção nos diferentes setores. A entidade definida para o processo foi nomeada “rocha” e a mesma circulará por todo o processo sofrendo as transformações necessárias. Durante o estudo, notou-se que dependendo do tamanho do diâmetro da rocha a produtividade pode ser maior ou menor. Portanto, trabalhar a partir do modelo de função triangular torna-se mais coerente. Um ponto que chama a atenção é que os tempos de alguns processos são idênticos. Esse fato está relacionado ao *set up* das máquinas, que foram configuradas para que tenham um desempenho semelhante. Um exemplo, o moinho de martelos possui sua produtividade regulada a partir da abertura das grelhas do equipamento. Portanto, é um equipamento que dita o ritmo da produção e que pode ser o gargalo do processo. A partir dessas análises preliminares e com base nos valores e *layout* do centro de trabalho foi realizado a disposição do fluxo utilizando as ferramentas de processo básico disponível no *Arena*. A figura 7 mostra o desenho do fluxo.

Figura 7 – Fluxo do processo produtivo no *Arena*.

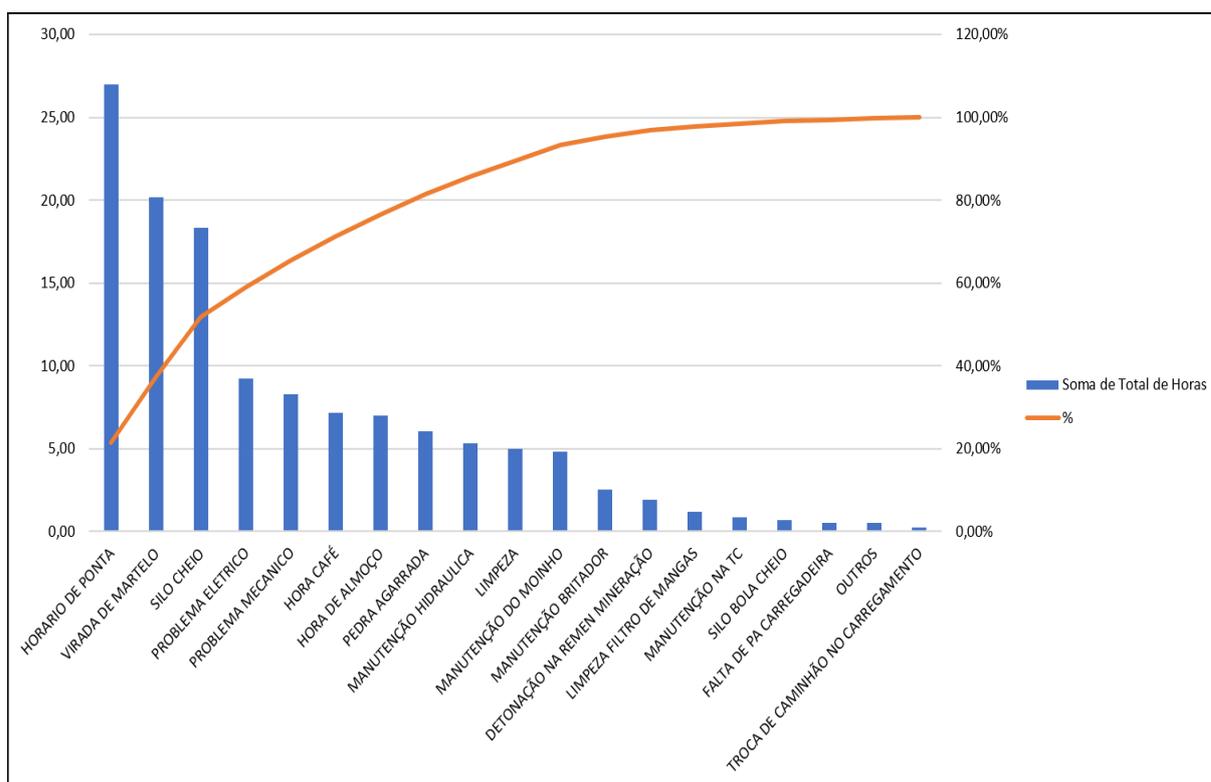
Fonte: Autoria própria, 2018.

Após checagem da parametrização do software foi definido o período de execução de simulação. Considerou-se um período de 12 horas (720 minutos) que é a capacidade efetiva atual da planta. Feito a simulação, obteve-se como resultado uma entrada de 440 toneladas de rocha e como saída 303 toneladas ocorrendo filas nos processos: 126 toneladas no envase; 5 toneladas nos moinhos de bolas; 1 tonelada no peneiramento; 1 tonelada na moagem com moinho de martelo e 4 toneladas na britagem. O resultado dessas filas é coerente com o dia-a-dia da operação de acordo com o observado e relatado por supervisores e operadores. Retirando o processo de peneiramento, todos os processos possuem antes um silo, característico de um sistema corda, pulmão e tambor que de acordo com Gontijo et al (2009), é uma ferramenta usada para programar e controlar uma produção assegurando a máxima utilização das restrições. O estudo de processos está ligado a teoria das restrições, que de acordo com Goldratt (1994) está relacionada aos conceitos de causa e interdependência dos objetos de um processo. Relacionado a isso, o sistema tambor-corda minimiza os efeitos dessa relação. Conforme já mencionado anteriormente, nota-se que a restrição ou tambor desse processo é o moinho de martelo, pois o mesmo determina qual produtividade de entrada e saída do sistema e o processo de envase, por conta do alto volume de material que se formou nos silos. Já os pulmões, são os silos que estão instalados antes de cada processo e corda são os sensores que fazem a comunicação entre os processos informando se a produção está em linha com o que foi determinado.

Com base nos dados obtidos na simulação, no processo de envase as 12 horas não foram suficientes para processar todas as toneladas produzidas. A simulação apresentou um tempo de espera nesse processo de 1,69 minutos, que é consideravelmente alto em relação aos demais processos que são respectivamente, britagem, moagem com moinhos de martelo, moagem com moinhos de bola e peneiramento apresentaram um tempo de 0,02; 0,00; 0,05; 0,01. Porém, a capacidade do silo é suficiente para atender toda fila de produto que se forma, tendo em vista que possui uma capacidade total de 190 toneladas. Além disso, outro dado importante para análise paralela é o percentual de utilização dos recursos. Com esses valores pode-se verificar se há ou não um grau elevado de ociosidade no processo. O britador e a ensacadora apresentaram 99% de utilização; o moinho de bola 96%; O moinho de martelo 86% a peneira 98%. Um fato curioso é que o moinho de martelo considerado o gargalo do processo possui uma menor utilização. Conforme dito anteriormente o mesmo é responsável pelo ritmo da produção. Atualmente seu *set up* faz com que a utilização não chegue ao 100% por conta dos processos posteriores.

Em diálogo com o responsável pela operação, foi sugerido uma análise crítica do processo de envase e talvez a compra de ensacadoras com maior eficiência, pois a partir de uma visão geral, se em cada turno de operação sobrar 126 toneladas de produto, ocorrerá momentos de parada total dos equipamentos. A partir dessa observação, o mesmo explanou dados que atestam isso. No controle diário de paradas da fábrica, nota-se que os tempos de interrupção por causa do “Silo Cheio” corresponde a 14% do tempo total de paradas. O gráfico de Pareto abaixo que retrata essas ocorrências, mostra que “Silo Cheio” possui peso importante nas causas de maiores ocorrências de interrupções. Portanto, esses valores somados aos dados da simulação mostram a prioridade da agenda de uma análise criteriosa do processo de envase.

Figura 8 – Ocorrências de interrupções da produção.



Fonte: Empresa em estudo, 2018.

Um detalhe que chama a atenção é o processo de peneiramento que processa apenas 15% do material, aproximadamente. Os 85% seguem para o beneficiamento nos moinhos de bolas. Foi levantado o questionamento se seria ou não viável em manter esse equipamento no processo. Para isso, foi realizado uma nova simulação sem o processo de peneiramento. Os resultados apresentados mostram que a quantidade de entrada e saída oscilou entre 1 a 4 toneladas e formou-se uma fila de 59 toneladas nos moinhos de bolas e 71 no envase. Nota-se que para retirada do equipamento será necessário a ampliação do silo dos moinhos de bola para no mínimo 60 toneladas, pois sua capacidade atual é de 30 toneladas necessitando um maior investimento na readequação do arranjo físico. A partir disso, verifica-se que retirar ou adicionar equipamentos no processo sem checar a eficiência do envase não melhorará a performance da operação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo aplicado na indústria de beneficiamento de rochas demonstra como o *Arena* é um *software* de grande importância para gestão de operações e processos

produtivos. Com ele é possível simular situações do dia-a-dia de atividades sem a necessidade de comprometer o uso dos equipamentos e pessoas. Com os resultados apontados ficou evidente que a simulação está coerente com a realidade do processo produtivo. O *layout* da planta está condizente com o processo e, portanto, não necessita ajustes. Uma observação contestada que seria a retirada do processo de peneiramento foi descartada a partir da simulação mostrando que seria no momento inviável realizar tal alteração. Outro fator importante visto durante o estudo é que praticamente 100% da operação possui um sistema de tambor, corda e pulmão sendo um facilitador dos recursos entre os processos. Porém, é necessária uma análise mais analítica do processo de envase que de acordo com a simulação mostrou-se mais crítica em virtude da formação de volume considerável de fila antes do processo. Apesar de possuir silos com uma capacidade de 190 toneladas, é notório que em algum momento ocorrerá o enchimento total dos silos paralisando toda operação. O que comprova essa tese é que de acordo com os registros da operação, 14% do tempo de paradas está relacionado a ocorrência de “Silo Cheio”, portanto é necessário esse estudo do envase. Sugere-se a organização a aplicação de metodologia de estudo de tempos e movimentos em virtude que há uma inserção de direta de mão de obra braçal nesse processo. Por fim, nota-se que os objetivos deste estudo foram alcançados a partir dos resultados expostos. É importante destacar, que todo o trabalho foi disponibilizado para a empresa como espécie de conhecimento explícito para futuros estudos e implementações.

6 REFERÊNCIAS

ARIOLI, E. E. **Análise e Solução de Problemas**: o método da qualidade total com dinâmica de grupo. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998.

BANKS, J. **Handbook of simulation**: Principles, methodology, advances, application, and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998.

CAMAROTTO, João Alberto. **Projeto de unidades produtivas**. [s.d]. Disponível em <<http://www.ifba.edu.br/professores/antoniocloaldo/04%20FERRAMENTAS%20DA%20Q/Manual%20sobre%20No%C3%A7%C3%B5es%20e%20Desenvolvimento%20de%20Fluxogramas.doc>> Acesso em 27 Mai 2018.

DAVIS, Mark; AQUILANO, Nicholas & CHASE, Richard. (2001) - **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre: Bookman.

FALCONI, Vicente. **O verdadeiro poder**. 2. Ed. Nova Lima: Falconi Editora, 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOLDRATT, Eliyahu M. **Mais que sorte...Um processo de Raciocínio**. São Paulo, Educator, 1994.

GONTIJO, Felipe Eugenio Kich; ARDIGO, Julíbio; AZEVEDO, Jovane Medina; DIAS, Alexandre Magno de Paula; SILVA, Mauro Medes. Implantação da teoria das restrições em uma empresa do setor termoplástico: um estudo de caso. **ENEGEP**, Salvador - BA, 06 a 09 de out. 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STP_091_615_12860.pdf> Acesso em 29Out. 2018.

GONÇALVES, Jose Ernesto Lima. Processo, que processo? **Revista de Administração de Empresas**, v.40, n.4, p.8-19. São Paulo: out/dez. 2000.

HAMMER, M.; CHAMPY, J. **Reengenharia**: revolucionando a empresa em função dos clientes, da concorrência e das grandes mudanças da gerência. 29. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

HARRINGTON, H. J. **Aperfeiçoando processos empresariais**. São Paulo: Makron Books, 1993.

LAW, A. & KELTON, W.D. **Simulation Modeling and Analysis**. 3.ed. McGraw-Hill, 1999.

MACHLINE, Claude et al. **Manual de administração da produção**. 5ed. Rio de Janeiro; Fundação Getúlio Vargas, 1979.

MAYNARD, H. B. **Manual de engenharia de produção: instalações industriais/ a função da engenharia de produção**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.

PACHECO, Ricardo Ferrari; CÂNDIDO, Marco A.B. Metodologia de avaliação da viabilidade de mudança de estratégia de gestão de demanda de make-to-order para assembly-to-order. **ENEGEP**, Salvador - BA, [s.d] 2001. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2001_TR14_0923.pdf>. Acessos em 27 Mai. 2018.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: Unicenp, 2007. Disponível em: <<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34490659/livro2folhas.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1508688713&Signature=MrpKBcK2VS7OKLL4jxzTOPQU5VU%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3Dlivro6.pdf>>. Acessos em 22 Mai. 2018.

PESSOA, P. F. A. de P. (2003) - **Gestão Agroindustrial**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.

PINTO, Marcel de Gois; SILVA, Liane Márcia Freitas; SUBRAMANIAN, Anand.

Utilizando o Software Arena como Ferramenta de Apoio ao Ensino em Engenharia de Produção. **ENEGEP**, Foz do Iguaçu - PR, 09 a 11 de out. 2007. Disponível em: <http://files.engenhariauniverso.webnode.com/200000119-16204169cb/ENEGEP2007_TR660482_9236.pdf>. Acessos em 22 Mai. 2018.

PRADO, D.(2004) – **Usando o Arena em Simulação**. Vol. 3.- INDG, Belo Horizonte.

RAMOS NETO, A.N. **Desenvolvimento de um Template no programa Arena para a simulação das operações de carregamento e transporte em minas a céu aberto**. Ouro Preto: PPGEM/EM/UFOP, 113p., 2003.(Dissertação de Mestrado).

RYAN, J. e Heavey, C. (2006), **Process modeling for simulation**. Computers in Industry (Elsevier), v. 57, p. 437-450.

SAMPAIO, José Alves; ALMEIRDA, Salvador Luiz Matos. **Calcário e Dolomito**. [s.l],[s.a]. Disponível em:<<http://www.cetem.gov.br/agrominerais/teste/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>. Acessos em 18 Out. 2018.

SILVA, E. L.; & MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação** – Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 3 ed. Florianópolis, 2003.

TOMPKINS J.A.; WHITE J.A.; BOZER Y.A. & TANCHOCO J.M.A. Facilities Planning, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002.

VILLAR, Antonio de Melo.; NOBREGA, Carlos Lins Junior. **Planejamento das instalações industriais** João Pessoa: Editora da UFPB, 2014.