

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. Panorama geral

Empresas do ramo têxtil enfrentam certas dificuldades no planejamento, programação e controle da produção (PPCP), pois algumas etapas de seu processo produtivo são contínuas, e outras, que dependem diretamente destas são classificadas como intermitentes repetitivas. Esta conjuntura, associada a uma grande pulverização de clientes e um mercado extremamente sensível a variações aleatórias, como por exemplo às tendências da moda e a ausência de contratos fixos de fornecimento, fazem com que as mudanças no programa de fabricação sejam constantes, aumentando a quantidade de setups e diminuindo a OEE (Overall Equipment Effectiveness) das máquinas.

Considerando que a característica de produção para o mercado têxtil apresenta alto índice de desclassificação de produtos comparado com a maioria dos processos químicos industriais, e que o relançamento de uma máquina parada representa a geração contínua de um dia de refugo, torna-se extremamente importante a correta programação da produção, para evitar futuros retrabalhos decorrentes de alterações feitas pelo planejamento.

1.2. O Estágio

Este trabalho de formatura foi desenvolvido durante o estágio supervisionado do autor numa empresa transnacional do setor têxtil que, por motivos de confidencialidade, será designada a partir deste momento apenas como EMPRESA. O período de experiência teve a duração de 1 ano, de janeiro a dezembro de 2005, nas áreas de supply chain e planejamento, programação e controle da produção.

Durante o estágio, o autor esteve envolvido com diversas atividades que serviam para auxiliar o bom funcionamento dos setores, como por exemplo mapeamento do fluxo de produção, catalogando as restrições de cada máquina e desenhando os caminhos de produção para os diferentes produtos, além de projetos visando redução e otimização de custos na área de logística.

O tema deste trabalho também serviu como um projeto dentro da empresa, tendo o autor responsabilidade pelo seu desenvolvimento. A necessidade foi levantada através de observações

feitas pela equipe de planejamento e reuniões com a gerência da área, que identificou uma real oportunidade de melhoria para as operações de rotina do PCP e deu total apoio para a obtenção de uma solução para o problema, que será descrito com mais detalhes a seguir.

1.3. A Empresa

A EMPRESA, base para a realização do presente trabalho de formatura, é uma companhia transnacional que atua no Brasil desde o começo do século XX. Atua em diversos ramos de especialidades químicas, dentre os quais se destaca o setor de fibras, responsável pela produção e comercialização de produtos como fios têxteis, fibras (utilizadas em carpetes e esponjas para lavar louça), e fios industriais (redes de pesca, tela de sustentação mecânica de pneus, etc.), entre outros.

Conforme menção anterior, o estágio do autor foi desenvolvido na área industrial têxtil, e é sobre este mercado que nos deteremos a partir de agora.

1.4. Fios Têxteis

1.4.1. Mercado

Os fios ou fibras têxteis são os materiais que, submetidos a um processo de fabricação, podem ser transformados em fio para ser utilizados em produtos têxteis ou em usos industriais (Barbosa et. Al.; 2004).

O mercado têxtil é dividido em dois grandes segmentos: fibras naturais, que são aquelas encontradas na natureza, sejam de origem animal, vegetal ou mineral, e químicas, que são obtidas por processos industriais, que são ainda subdivididas em artificiais – obtidas por meio de processos que utilizam um polímero natural (acelulose) – e sintéticas, cujos processos produtivos utilizam polímeros sintetizados a partir de produtos petroquímicos de primeira geração (eteno, propeno, benzeno e para-xileno). Um esquema dos tipos de fibras pode ser visto na Figura 2.

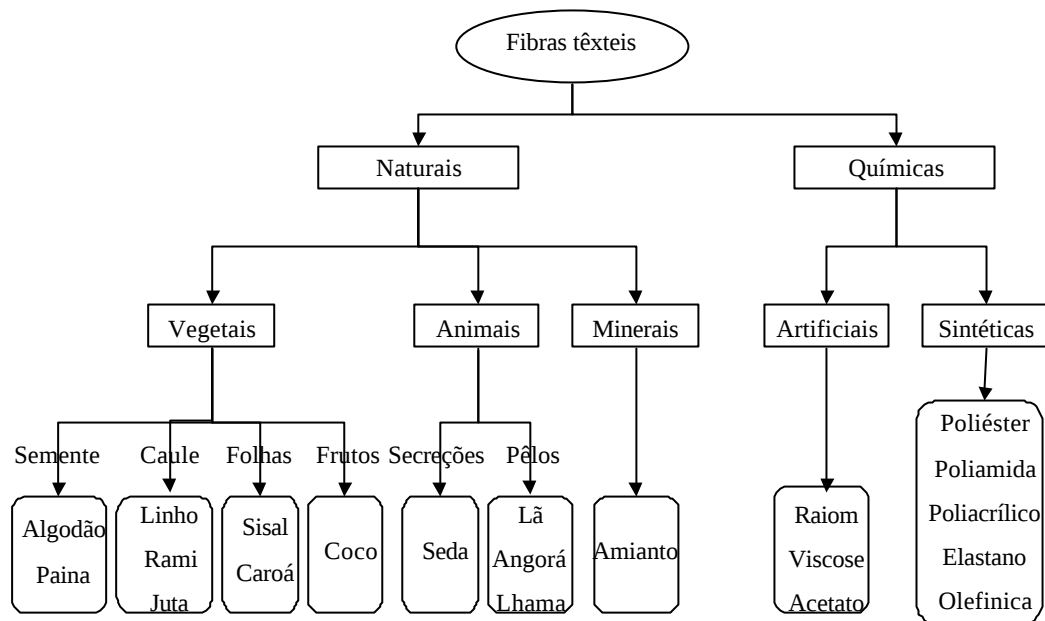


Figura 1.1: Tipos de fibras têxteis – Fonte: Abrafas

A EMPRESA fabrica uma fibra sintética chamada poliamida (nome científico, mais conhecida como nylon), enquadrando-se portanto no segmento de fibras químicas sintéticas.

Em 2003, o consumo brasileiro de fibras foi da ordem de 1,47 milhão de fibras, distribuídas de acordo com a figura 2.

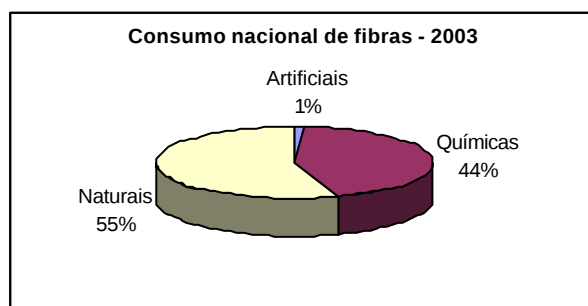


Figura 1.2: Consumo de fibras têxteis no Brasil em 2003
Fonte: BNDES Setorial Complexo Têxtil- Rio de Janeiro, no. 20 – Adaptado pelo autor

Podemos ver que as fibras naturais, mais especificamente o algodão, possuem maior participação no mercado. Porém, as fibras químicas vêm diminuindo esta margem nos últimos anos, o que gera uma previsão de aumento das vendas neste segmento. Esta tendência vem em grande parte impulsionada pela expansão do poliéster, que graças a um intenso esforço em pesquisas de desenvolvimento passou a incorporar algumas características das fibras naturais, em especial do algodão, indo ao encontro do hábito brasileiro de vestuário.

Outro fator importante com relação ao poliéster foi o crescimento da produção em países asiáticos, investindo neste produto que pode ser considerado uma *commodity* têxtil, produzindo em grande escala e com preços extremamente competitivos, o que obrigou muitas das empresas mais tradicionais do ramo têxtil a tomarem uma nova orientação para seus negócios, apostando na produção de fibras têxteis de maior valor agregado, como a poliamida por exemplo.

Com relação ao total do consumo de fibras químicas (643 mil toneladas em 2003), destaca-se o poliéster, com 74% do total. A poliamida, área de atuação da EMPRESA, responde por apenas 14% deste mercado, que vem apresentando um ligeiro aumento de demanda de 0,6 % ao ano (Fonte: BNDES Setorial – Complexo Têxtil) como podemos ver na figura 3.

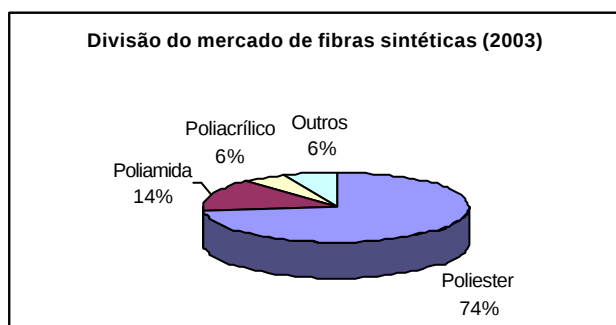


Figura 1.3: Parcela de participação de fibras químicas sintéticas no Brasil em 2003

Fonte: BNDES Setorial, Complexo Têxtil- Rio de Janeiro, no. 20 – Adaptado pelo autor

Desta forma, pode-se concluir que o mercado no qual a EMPRESA está situado é bastante segmentado, representando uma produção total de 67 mil toneladas em 2003, ou aproximadamente 3% da produção total de fibras no Brasil (Fonte: Abrafas).

1.4.2. Produtos

A principal matéria-prima dos fios têxteis da EMPRESA é o sal nylon. Este composto, depois de atravessar as diversas etapas do processo produtivo e transformar-se em filamento, apresenta como principais características a maciez do toque e a resistência à tração. Por causa destes atrativos, as aplicações do fio têxtil de poliamida estão muito envolvidas com o vestuário em geral, podendo ser divididas em 4 grandes grupos:

- *Malharia Circular*: clientes responsáveis pela confecção de artigos de moda em geral, lingerie, segmento esportivo, camisas, biquínis e agasalhos;
- *Tecelagem*: aplicações em forros, etiquetas, confecção de malas e bolsas, guarda-chuvas, tecidos industriais e fitas impressoras;
- *Malharia Urdume*: aplicações em certos tipos de lingerie, bases de calçados, rendas e também na linha esportiva;
- *Outros*: aplicações mistas, como elásticos, fio dental, linhas de costura, velcro, meias femininas e masculinas e recobrimentos.

Os três grandes grupos de produtos, que servem de base para todas as aplicações descritas acima, são os fios lisos, texturados e a microfibras, que pode ser tanto lisa quanto texturada. As especificações de cada tipo de fio serão discutidas na seção sobre o processo produtivo.

Com relação aos clientes, vale ressaltar que a empresa não possui um sistema de vendas no varejo. Desta forma, os principais consumidores diretos dos fios produzidos são malharias e confecções, que fazem a ponte até o mercado consumidor final através das marcas de apelo ao público.

1.5. Colocação do Problema

Diante das características apresentadas, pretende-se estudar a situação atual de PCP dentro da EMPRESA em questão, principalmente no quesito de quantidade e qualidade de informação, que permitam uma melhor utilização dos recursos produtivos e uma programação de produção com menos mudanças, que procure evitar o acompanhamento das oscilações do mercado como um todo.

Dentre as etapas do processo de produção têxtil da EMPRESA, destaca-se aquele responsável por extrudar os filamentos que formam o fio, conhecido por fiação. O planejamento da produção de toda a fábrica deriva das saídas e da performance deste processo, e desta forma é extremamente importante que o planejamento nesta etapa seja feito de forma correta e que as informações existentes sejam confiáveis e transmitidas às outras áreas da companhia.

Uma melhor programação do funcionamento das máquinas da fábrica poderia diminuir o número de alterações no programa de produção previamente acertado para o mês. A cada parada da máquina de fiação, seja para realizar algum tipo de manutenção, alterar o tipo de fio que será fabricado ou, simplesmente, parar a máquina pois a demanda corrente do mês não será suficiente para cobrir a oferta de determinado produto, ocorre geração de refugo, pois toda a matéria-prima contida dentro da máquina é desperdiçada. No caso de parada de produção a situação é ainda mais complexa, pois ao ser feito o relançamento da máquina existe um intervalo que varia entre um a dois dias onde a consistência do fio fabricado não é a ideal, ou seja, essa produção acaba sendo destinada a refugo ou a segunda escolha, ou seja, um produto de qualidade inferior que é vendido aos clientes a um preço 60% menor do que um equivalente de qualidade superior. Além do fato de que os recursos disponíveis para produção (máquinas e mão de obra) são ocupados de forma não produtiva, diminuindo a eficiência e a capacidade do sistema como um todo.

Outro fator importante é que o planejamento para a fiação é feito de forma discreta, através de planilhas do Microsoft Excel. Ocorre aí grande parte das diferenças entre a produção programada e real, já que não são consideradas informações importantes, e que influenciam o resultado final, como por exemplo a taxa de acidentes, ou o rendimento das máquinas e do fio que será fabricado. Desta forma, quando toda a carteira de pedidos prevista pela equipe de vendas

se concretiza, em alguns produtos verifica-se uma produção insuficiente para suprir esta demanda, o que gera uma reprogramação das máquinas, um maior número de setups e consequentemente um menor tempo de máquinas disponíveis para a produção.

1.6. Abordagem da situação

Pela experiência vivida durante o estágio e através da descrição realizada no item anterior, percebe-se que há um grande potencial de melhoria com relação à situação atual.

Um dos fatores que mais chamam a atenção é o fato do planejamento utilizar um modelo determinístico para realizar a programação da produção. Apurou-se também que a atualização dos parâmetros deste modelo é realizada de forma totalmente ocasional, quando deveria ser feita periodicamente uma análise criteriosa sobre a validade dos mesmos. O fato de o processo produtivo possuir características singulares, como por exemplo o alto índice de desclassificação, faz com que os desvios que freqüentemente ocorrem entre o real e o programado não sejam bem assimilados pela equipe. Somando-se o fato da ausência de um posto de pesagem depois do processo mais importante, a fiação, e no qual todo o planejamento de produção se baseia, os desvios do programa só são percebidos muito tarde, geralmente quando um cliente deixa de ser atendido por falta de produção ou um aumento substancial de produto acabado, aumentando o capital engajado da companhia.

Se considerarmos o fato de que muitas variáveis de comportamento aleatório afetam diretamente a performance do sistema, e que é importante saber como os recursos estão sendo ocupados no decorrer do tempo, vemos que o atual modelo de planejamento de produção possui muitos pontos vulneráveis. Entretanto, se fosse desenvolvida uma ferramenta que tivesse uma abordagem probabilística, e que além disto fornecesse informações importantes para o andamento do processo, como por exemplo a taxa de ocupação dos recursos e as saídas de produção de cada produto, esta resolveria grande parte dos problemas enfrentados.

Diante deste quadro, podemos pré-selecionar a simulação computacional como um potencial candidato para a resolução do problema, pois possui as características requeridas para

um modelo de gestão de produção e recursos e pode controlar fatores relevantes que influem no processo de fabricação (acidentes, perdas no processo, geração de refugo, rendimentos das máquinas, taxa de utilização da mão-de-obra, etc.).

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresentará todo o embasamento teórico utilizado para realizar o presente trabalho de formatura. Primeiro faremos uma breve introdução à pesquisa operacional em seu todo, destacando suas principais sub-áreas e conceitos mais importantes. Depois, passaremos a focar a revisão bibliográfica na simulação computacional, descrevendo esta parte com mais profundidade.

2.1 Pesquisa Operacional

Pesquisa Operacional (PO) é um método científico de auxílio à tomada de decisões, que provê medidas quantitativas para o melhor funcionamento de um sistema.

Segundo SHAMBLIN et. al (1979), o termo pesquisa operacional surgiu em 1939 mas se desenvolveu principalmente durante a 2^a Guerra Mundial, onde foi empregada com sucesso na otimização dos recursos de guerra como estratégias, táticas de movimentação e suprimento das tropas. Atualmente, o seu uso migrou dos campos militares para diversos ramos da indústria, onde se destacam a aeronáutica, manufaturas em geral e serviços, tornando-se uma ferramenta importante para a tomada de decisão.

A modelagem em pesquisa operacional está baseada na construção e elaboração de modelos. De acordo com PRADO (1999), modelos são estudos feitos sobre a representação de sistemas, com o objetivo de otimizar ambientes e serviços, que permitam analisar a realidade de forma simplificada e tomar decisões ou acompanhar sua eficácia. Devido às diversas variáveis que influenciam um problema real, as suas considerações ou não no modelo afetam diretamente na complexidade do mesmo. Desta forma, torna-se um desafio tão grande quanto construir um modelo a questão de decidir qual grau de detalhamento será necessário para a obtenção dos resultados desejados.

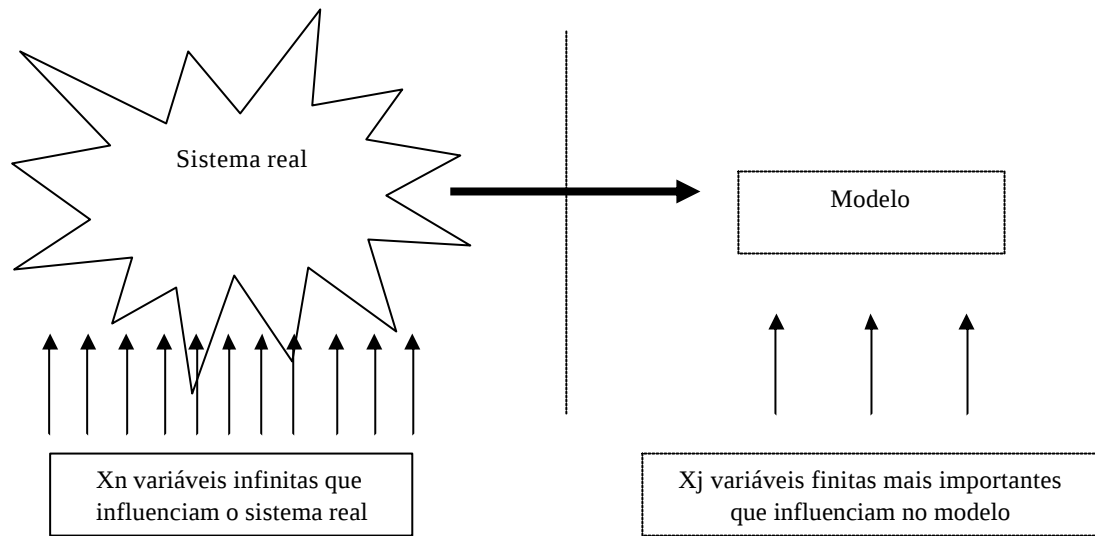


Figura 2.1: Representação gráfica do processo de modelagem

Elaborado pelo autor

A pesquisa operacional é constituída por duas grandes áreas, de acordo com a natureza da técnica utilizada: programação matemática, que engloba as técnicas de tais como programação linear, inteira e não inteira, teoria dos jogos entre outros; e técnicas probabilísticas, onde se destacam a teoria das filas, cadeia de Markov e simulação computacional.

2.2. Programação Matemática

Segundo PEDGEN et. al. (1991), programação matemática é formada por um conjunto de métodos otimizantes que reproduzem um sistema real através de equações matemáticas. A partir de uma função objetivo, a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função matemática de recursos escassos. As relações entre as variáveis são formalizadas através de restrições ao problema expressas como equações ou inequações matemáticas.

De forma geral, requer grande capacidade de abstração por parte do programador, na medida em que nem sempre as características de uma situação real conseguem ser transportadas para a forma analítica diretamente, necessitando muitas vezes de um esforço de programação considerável.

2.3. Modelos probabilísticos

Modelos probabilísticos são aqueles em que a variabilidade dos processos e tempos são consideradas na modelagem do sistema real.

Dentre os diferentes modelos probabilísticos existentes, focaremos a atenção na simulação computacional.

2.3.1. Simulação Computacional

A partir deste item serão descritas as principais características da simulação computacional, as vantagens e desvantagens de sua utilização e em quais situações seu uso é mais recomendado e atinge os resultados esperados.

2.3.1.1 Descrição geral

Segundo CORPORATION, S.M. (1999), a simulação ou modelagem computacional pode ser definida como uma técnica de estudo do comportamento de reações através de modelos, que são construídos em meios digitais e imitam, na totalidade ou em parte, as propriedades e comportamentos de um sistema real em uma escala menor, permitindo sua manipulação e estudo detalhado.

O uso de simulação computacional acompanhou, de certa forma, o próprio desenvolvimento dos computadores e de suas capacidades de processamento. Em seus primórdios, por volta dos anos 50, as técnicas de simulação eram bastante complexas, pois envolviam um esforço conjunto de modelamento matemático de sistemas e implementação de algoritmos em linguagens de programação. Com o advento da disseminação dos microcomputadores, que cada vez possuem mais recursos tecnológicos em termos de velocidade e performance, somado ao desenvolvimento de linguagens de simulação mais amigáveis aos usuários em geral, tornaram a simulação computacional uma das ferramentas mais importantes para o projeto de sistemas.

Atualmente, a maioria dos softwares de simulação oferece aos usuários o dispositivo de blocos de programação, e estes objetos substituem as linhas de programação anteriormente existentes. Representam um avanço considerável no sentido de agilidade e facilidade de programação, mas por outro lado não permitem a obtenção do mesmo grau de flexibilidade das linguagens de programação. Este problema pode ser em parte superado pois os mais modernos softwares utilizam uma combinação entre estas duas características, onde os blocos comportam a inserção de linhas de código pelo usuário, o que se traduz em melhores resultados e mais aderência às situações reais.

2.3.1.2. Quando usar a simulação?

A decisão pela utilização ou não da simulação computacional em um projeto deve ser feita de forma bastante criteriosa. É fato que, apenas a combinação entre uma boa programação, que permitirá a elaboração de um modelo que represente com fidelidade a situação real, e uma base de dados confiáveis e corretamente inseridos no modelo será capaz de gerar resultados dignos de observação e análise.

Também se deve levar em conta qual a natureza do problema a ser resolvido. Por se tratar de uma ferramenta que requer certa quantidade de recursos para ser utilizada com sucesso, como por exemplo o tempo do programador e a estrutura de coleta e análise de dados, deve-se evitar o uso da simulação para a resolução de problemas considerados simples. Para os casos em que o impacto da decisão ou do acompanhamento que se deseja manter possuem custos menores do que a simulação em si, esta deve ser evitada.

Deve-se levar em conta também o custo de se fazer experimentações na linha de produção ou manter situações claramente dispendiosas para a empresa. Da mesma forma que o exemplo anterior, se os custos destas ações forem menores que o custo da simulação, utilizar esta técnica torna-se proibitivo.

Em linhas gerais, BOTTER (2001) constata que a simulação pode ser utilizada de duas maneiras:

- Identificar o status atual de funcionamento do sistema: o quanto e como meus recursos estão sendo utilizados, qual a avaliação possível de ser feita sobre meu sistema da forma como se encontra;
- Testar hipóteses de melhoria: alterar os parâmetros que regem o modelo e obter diferentes cenários futuros de como as operações poderiam ser.

2.3.1.3. Vantagens e desvantagens da simulação

Como toda ferramenta de PO, a simulação computacional possui características singulares em relação a outros métodos, porém nem sempre é a técnica mais indicada para a resolução de um problema. A decisão sobre a utilização ou não deve ser baseada em função do tipo de sistema que se quer estudar e quais respostas deseja-se obter deste estudo.

Feitas estas considerações gerais, podemos destacar que a simulação computacional apresenta como principal vantagem, principalmente se comparada com a programação matemática, a questão da facilidade na criação de modelos e obtenção de respostas. Conforme dito anteriormente, a simulação é feita baseada por blocos pré-preparados, que possuem características reais como velocidade de operação, taxa de falhas ou rendimento. Esta aproximação com o mundo real auxilia o usuário, que não precisa dispor do mesmo grau de abstração necessário para a programação matemática, onde os eventos são totalmente descritos por equações e relações lógicas.

Outras vantagens derivam diretamente da discussão apresentada no item anterior (ver 2.3.1.2). Altos custos para a realização de experimentos práticos podem servir como atrativo para o uso da simulação de sistemas.

Segundo PEDGEN et al. (1991), a ferramenta permite manipular o tempo de forma bastante conveniente, seja expandindo ou contraindo-o, permitindo reproduzir os fenômenos de

maneira lenta ou acelerada para que se possa estudá-los melhor através da evolução dos processos no tempo. Além deste fato, trata-se de uma técnica segura, onde possíveis experimentos podem ser conduzidos sem qualquer risco à segurança das pessoas.

Entre as desvantagens no uso da simulação, LAW e KELTON (200) destacam a impossibilidade de obtenção de soluções ótimas. Principalmente para o caso de sistemas não complexos em demasia, é mais interessante fazer a programação matemática e, através de um algoritmo otimizador encontrar a resposta ideal. Porém, esta mesma característica atua de forma inversa se o sistema real for extremamente complexo. Observa-se nestes casos que o esforço para se encontrar a resposta ótima é tamanho que passa a não valer a pena, seja pelo demorado tempo de processamento que não permite a realização de análises de sensibilidade, seja pelo esforço de modelamento em si.

De acordo com PEDGEN et al. (1991), o treinamento para a correta utilização da ferramenta costuma demorar, e o custo associado tanto à ocupação das pessoas e o tempo de treinamento pode inviabilizar a realização de um projeto de simulação.

Outra possível desvantagem da simulação computacional reside no fato de que é bastante difícil fazer o aproveitamento de modelos antigos em novas simulações, já que a adaptação costuma ser tão trabalhosa que é mais fácil construir um modelo completo.

2.3.1.4. Softwares de Simulação Computacional – Características

Os softwares de simulação são ambientes computacionais que auxiliam na modelagem de sistemas. Através da interface do programa o programador pode utilizar ferramentas de análise estatística, bastante úteis para avaliar o comportamento das variáveis ao longo do tempo, recursos gráficos como mapas e animações além da lógica do modelo em si.

Devido ao intenso desenvolvimento dos computadores observado no final do século XX, a simulação ganhou um atrativo maior pois não somente a velocidade de processamento aumentou, mas os softwares puderam incorporar muitas evoluções e hoje suas funcionalidades

estão bastante direcionadas para os problemas usualmente encontrados no mundo corporativo, com módulos específicos para o estudo de transportes, movimentação e armazenagem de materiais (MAM), atendimento em call center dentre muitas outras. Os responsáveis por estes módulos são conhecidos como blocos pré-programados, que associam a determinados símbolos os comandos de programação correspondentes e direcionam de forma rápida a construção do modelo.

Os principais softwares de simulação existentes no mercado são o Arena e o Pró-Model, sendo que a principal diferença entre ambos reside no fato de que o primeiro possui uma interface onde quase não é necessária a entrada de linhas de código, apenas a correta orientação da fluxograma de operações, enquanto que o segundo apresenta uma mistura maior entre a linguagem orientada através dos blocos e a inserção de linhas de programação para complementar a lógica do modelo.

2.3.1.5. Terminologia

Pelo fato de que os softwares de simulação possuem um padrão de funcionamento bastante específico, torna-se necessário um correto entendimento da terminologia relacionada com os programas. Portanto, será apresentada uma pequena explanação sobre os principais blocos pré-programados, assim como a definição de alguns conceitos importantes para a visualização da dinâmica de simulação, que se desenvolve de acordo com a figura a seguir.

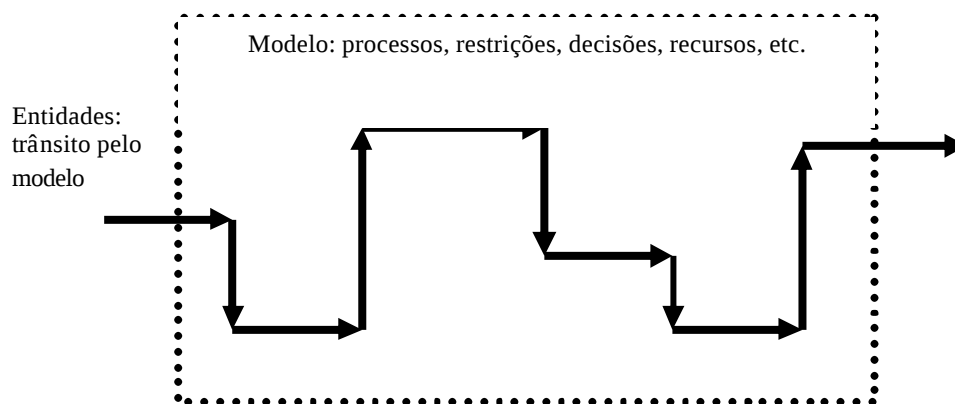


Figura 2.2: Dinâmica de funcionamento de um modelo de simulação computacional

Adaptado de Corporation, S. M., Arena's Users Guide

2.3.1.5.1. Entidades

São a parte circulante do sistema, percorrendo a lógica de programação estabelecida pelo fluxograma. Representa a unidade física do sistema cujo comportamento se deseja estudar, como por exemplo peças, caminhões, ordens de produção, etc.

Dentro de um mesmo modelo é possível trabalhar com diversas entidades diferentes. Pode-se optar, também, por utilizar um mesmo tipo de entidade e conforme seja necessário adicionar informações que passarão a serem “carregadas” com as entidades pelo sistema. Estas informações, dependendo do tipo e da aplicação são conhecidas como **variáveis**, que são disponíveis para todo o modelo, e **atributos**, disponíveis apenas para a entidade.

2.3.1.5.2. Recursos

O recurso é uma estrutura que será usada para que a entidade realize alguma atividade, na qual será despendida certa quantidade de tempo. No caso de uma indústria, possíveis recursos podem ser as máquinas, os operadores, equipamentos de manutenção, etc.

2.3.1.5.3. Processos

Processos podem ser definidos como a seqüência de eventos na ordem cronológica de seus acontecimentos. Representam qualquer ação ou tarefa dentro do sistema, que leve um tempo para ser cumprida. É através do módulo de processos que se faz a ocupação dos recursos.

2.3.1.5.4. Eventos

É o instante de tempo no qual alguma troca significativa de estado ocorre no sistema, por exemplo o início de funcionamento de uma máquina ou algum estado de falha, tanto nos equipamentos quanto com relação à mão de obra.

2.3.1.5.5. Decisão

Bloco de programação que diante de certa característica da entidade, seja pelo número, tempo de simulação ou um determinado valor das variáveis e/ou atributos, pode direcioná-las para caminhos diferentes no fluxograma do modelo. Em outras palavras, este módulo representa as ramificações do sistema, onde podem ser escolhidas em que condições os diferentes caminhos podem ser tomados.

2.3.1.5.6. Cronograma

Módulo de dados que possibilita ao programador simular acontecimentos reais como trocas de turnos, paradas quaisquer (refeições ou descanso), pela disponibilização ou não dos recursos produtivos. Pode ser aplicado também nos módulos de criação de entidades, onde se pode alterar a taxa de chegada das mesmas no decorrer do tempo.

CAPÍTULO 3

MÉTODO DE RESOLUÇÃO

3. MÉTODO DE RESOLUÇÃO

Para a realização de um projeto de simulação computacional, existem vários tipos de métodos defendidos por diversos autores, que em linhas gerais são bastante similares, contendo apenas pequenas diferenças entre si. Desta forma, as etapas do projeto de simulação a serem seguidas, apresentadas abaixo, estão baseadas em BOTTER (2001), CORREA (2002) e Arena User's Guide (2002).

3.1. Descrição geral

O método para a realização de um projeto de simulação computacional é dividido em 7 etapas, de acordo com a figura abaixo. Esta divisão serve para organizar as tarefas a serem cumpridas, através de um cuidadoso planejamento e gestão dos recursos disponíveis para que a linha de desenvolvimento do projeto seja mantida.

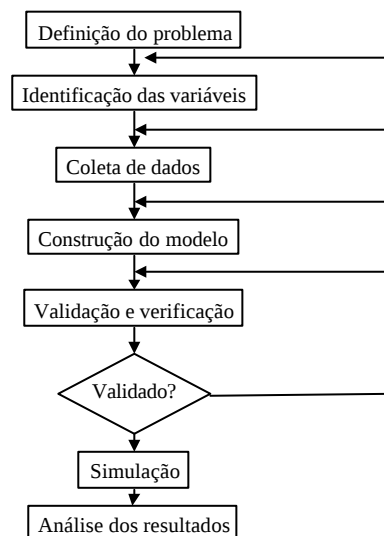


Figura 3.1: Etapas do método de resolução de um projeto de simulação computacional

Alguns fatores são de suma importância para que os objetivos sejam atingidos. Deve-se conhecer com propriedade o processo que se deseja modelar, assim como suas principais características e como estas se relacionam. Tão importante quanto o conhecimento técnico do

programador é o seu entrosamento com o resto da equipe, para que as informações sejam adquiridas com acurácia. Também é importante definir com clareza quais são as metas que se pretende atingir com a simulação, e que os resultados obtidos sejam divulgados e devidamente interpretados.

Nos itens seguintes, veremos em detalhes quais tarefas consistem cada etapa do método de resolução.

3.1.1. Definição do problema

Antes de qualquer tentativa de estudo ou análise, é de extrema importância que o problema a ser atacado esteja bem delimitado. Saber qual a amplitude da análise, quais metas pretendem ser atingidas, definir claramente o que pertence ou não ao escopo do projeto devem ser as tarefas preliminares a serem realizadas.

Vale lembrar que as metas e objetivos podem ser revistas com o tempo, dependendo da mudança de objetivos ou resultados prévios de testes. Também deve-se identificar quem são as pessoas beneficiadas e/ou afetadas pela análise, como estas poderão ajudar no andamento do projeto e para quem se deve reportar os resultados.

3.1.2. Identificação das variáveis

Após o perímetro do projeto estar bem definido pela análise feita na etapa anterior, deve-se identificar todas as variáveis que influenciam no sistema. Informações como o número de máquinas disponíveis para realizar um determinado processo, quantos funcionários por turno de trabalho, quais e como os principais tipos de quebra prejudicam o funcionamento normal das operações, são importantes pois são críticas para a qualidade de resposta que o projeto de simulação computacional proverá.

Na fase de identificação de variáveis deve-se também mentalizar qual o nível de detalhe que o modelo pretende alcançar. Conforme visto em itens anteriores, o grau de detalhamento é

uma decisão crucial que afetará de forma direta o esforço de modelagem por parte do programador. Da mesma forma, é importante declarar qual o grau de decisão que será obtido, quais os tipos de experimentos que serão realizados e como os resultados serão apresentados para as pessoas interessadas.

Outro fator que deve ser abordado nesta fase do projeto são as restrições para a sua realização. É comum que fatores extrínsecos ao projeto, como por exemplo a falta de recursos (dinheiro, equipamentos para a simulação, acesso às informações), causem grandes transtornos durante o desenvolvimento do projeto chegando até a inviabilizá-lo, em última instância.

Antes de se partir para as fases de coleta de dados e construção do modelo, recomenda-se construir um esquema de como será a lógica da simulação, como os processos estão interligados e como a disponibilidade dos recursos afeta uma ou mais determinadas etapas do fluxo.

3.1.3. Coleta de dados

A coleta de dados consiste na obtenção de informações, através de amostras ou dados históricos, sobre as variáveis definidas no item 2.1.2 e que serão consideradas para a construção do modelo, depois de definido o nível de detalhamento a ser utilizado. É extremamente importante realizar uma análise crítica sobre a qualidade dos dados, quando disponíveis, para que medições pouco cuidadosas ou erros de cadastros desperdicem os resultados de uma modelagem estruturada.

A participação e opinião de pessoas que possuem contato diariamente com os processos que se deseja obter estatísticas funcionam como um “filtro” para detectar incertezas. Por conhecerem as características da operação de forma mais apurada, podem contribuir na avaliação dos dados por possuírem uma sensibilidade maior aos desvios dos dados.

Caso os dados sobre uma determinada tarefa não sejam disponíveis, tanto sua frequência quanto o tempo de duração, deve-se buscar o melhor caminho entre coletar os dados que forem realmente necessários e fazer aproximações que permitam rodar o modelo. Se a primeira

alternativa for escolhida, a coleta de dados deve ser feita por pessoas treinadas e experientes, respeitando os procedimentos e seguido critérios claros para que erros experimentais não interfiram nos resultados. Se a obtenção dos dados for custosa ou de difícil medição, deve-se estabelecer com clareza qual a implicação da não disponibilidade dos mesmos e quais critérios serão levados em consideração para realizar a aproximação.

Aconselha-se também que pequenos testes sejam feitos sobre o esboço do modelo, para que se avalie a acuracidade dos dados e se outras informações serão necessárias.

3.1.4. Construção do modelo

Uma vez terminada toda a compilação de dados e listagem de características e restrições do sistema, parte-se para a etapa de construção do modelo no simulador. A construção deve respeitar todas as relações entre os processos e as variáveis que o influenciam. Os dados coletados que apresentarem uma componente de variabilidade expressiva devem ser testados estatisticamente para determinar qual distribuição de probabilidades melhor representa a amostra em questão.

Recomenda-se usufruir uma característica positiva da simulação que é a possibilidade de simplificação para testar o modelo, não sendo necessário que esteja inteiramente pronto. Utiliza-se um modelo simplificado que servirá de base para o modelo completo, e experimenta-se diferentes combinações e possibilidades de modelagem diferentes. Trata-se de um exercício valioso para a detecção de informações ainda faltantes no sistema e da verificação das melhores lógicas para se obter os resultados desejados.

Nos casos em que a movimentação de materiais e/ou pessoas é intensa, vale a pena considerar o uso da animação gráfica para uma melhor avaliação dos deslocamentos no sistema. Sua utilização é ainda mais interessante para a ocasião de apresentação de resultados, principalmente quando a maior parte das pessoas não conhece simulação computacional.

3.1.5. Validação e verificação

Os processos de validação e verificação de um modelo de simulação computacional são normalmente classificados como etapas à parte, porém devem ser realizadas em paralelo à coleta de dados e construção do modelo. Segundo BOTTER (2001), validação é a confirmação de que o modelo opera da forma pretendida e que seu resultado representa o sistema real, ou seja, atesta a aplicabilidade do modelo para o estudo e melhoria da situação atual.

Não existe uma fórmula exata que permita a validação de um modelo, sendo que os procedimentos utilizados para tal costumam variar dependendo da situação analisada. Dentre as diversas possibilidades existentes para a validação de um sistema, pode-se mostrar os dados de entrada e os resultados para pessoas que conheçam a fundo o processo. Se estas aceitarem as respostas para a situação apresentada, conclui-se que o modelo está validado, apesar do alto grau de subjetividade que esta abordagem apresenta. Outro método possível é comparar as saídas (outputs) com os apontamentos existentes do sistema real de situações passadas, a fim de verificar a ocorrência de alguma discrepância. De forma análoga ao primeiro exemplo, se o comportamento do modelo seguir uma certa correlação com o sistema real, diz-se que este está validado.

Caso algum dos procedimentos de validação retorne resultados negativos, deve-se avaliar toda a estrutura do modelo e buscar nas fases anteriores possíveis causas para os desvios apresentados. A partir da detecção dos motivos, atua-se de forma corretiva para exterminar os desvios e simular novamente, passando pelo crivo da validação quantas vezes forem necessárias até que o modelo seja aceito como representativo do sistema a ser estudado.

3.1.6. Simulação

A etapa de simulação consiste na realização de diversas iterações no modelo, de forma a avaliar suas respostas (outputs) dada uma gama de dados de entrada (inputs). Para projetos de simulação computacional que pretendem atingir melhorias com relação ao estado atual, nesta fase são realizados os testes com diferentes cenários, onde se alteram uma ou mais características do

sistema real e verifica-se qual o comportamento das variáveis de resposta dada uma determinada mudança.

Para esta fase do projeto vale destacar que o conhecimento adquirido nas etapas anteriores pode ajudar na idealização de cenários passíveis de implementação, já que se espera que o sistema seja de total conhecimento por parte do analista à esta altura dos desenvolvimentos do projeto.

3.1.7. Análise de resultados

O último passo de um projeto de simulação consiste na análise dos resultados. Além da capacidade de observação do sistema e do modelo, os softwares de simulação geram diversos relatórios ao final das replicações previstas, o que ajuda bastante na interpretação e tomada de decisão, quando necessário, com base nos resultados.

Todas as conclusões advindas de um estudo de simulação devem ser criteriosamente analisadas. Muitas vezes as respostas sobre a ineficiência de um processo não é clara o bastante para detectarmos a causa desta ineficiência. Neste caso, a simulação funciona como um agente para classificarmos quais atividades devem ter suas operações destrinchadas, para que se encontre a causa raiz do problema.

Para projetos de simulação que visam obter informações sobre o funcionamento do sistema atual, a análise de resultados serve primeiramente para aumentar a rastreabilidade das respostas e do comportamento do sistema. Pode também no futuro motivar a realização de estudos de melhoria, já que possibilitou enxergar com mais clareza os desperdícios do sistema.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

4. DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

4.1. Justificativa para a escolha do método de solução

Conforme explicitado no capítulo 1, a EMPRESA não possui uma previsão satisfatória sobre as saídas de seu principal processo, a fiação. Além disso, há uma grande pressão para que os recursos disponíveis sejam utilizados com a maior eficiência possível, e também não há informações adequadas e de fácil visualização.

Para as três informações desejadas pela empresa, são necessárias respostas quantitativas, que mostrem como está a situação atual no sistema de produção da fiação. Desta forma, a modelagem computacional parece ser a ferramenta mais adequada para a solução do problema. Entre as duas alternativas existentes de modelagem computacional, programação matemática e simulação computacional, escolheu-se esta última pelas seguintes razões:

- A simulação, de acordo com BOTTER (2001), pode ser utilizada também para mostrar o status atual de funcionamento do sistema, o que se encaixa na situação da EMPRESA;
- O número de variáveis que influenciam no sistema real e a quantidade de informações a serem inseridas no modelo resultariam em um alto grau de abstração em se tratando de programação matemática, enquanto que a simulação permite uma abordagem mais direta;
- Os tempos de processos possuem variabilidade que influenciam decisivamente na performance do sistema;
- As informações adicionais requeridas (OEE e taxa de ocupação de mão-de-obra) podem ser obtidas de forma mais fácil, já que nestes casos existe uma flutuação da ocupação destes recursos ao longo do tempo. Introduzir o fator cronológico em um modelo de programação matemática é uma tarefa bastante complexa e dispendiosa;
- Como o objetivo do projeto é acompanhar a situação atual do processo, não é necessária a utilização de um modelo otimizante, e a simulação pode trazer as respostas requeridas mais rapidamente.

A consideração desta lista de razões justifica a escolha da simulação computacional como sendo a ferramenta mais adequada para atingir os objetivos do projeto.

Entretanto, antes de seguirmos o método de desenvolvimento de projetos de simulação computacional, é importante o conhecimento da cadeia produtiva como um todo e qual será a área abrangida pelo modelo.

4.2. Processo Produtivo

4.2.1. Produção

O processo de produção têxtil da EMPRESA possui diferentes caminhos de produção, de forma a atender as especificações dos clientes e possibilitar a fabricação de fios para diferentes aplicações. O macro fluxograma da produção é descrito na figura 4.1.

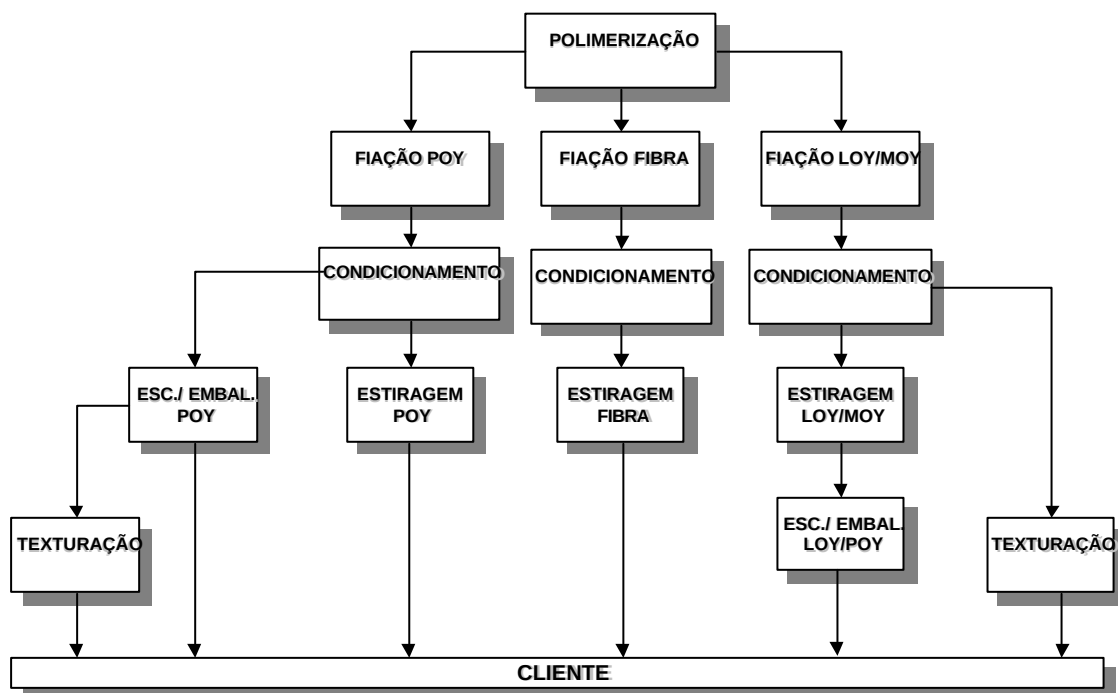


Figura 4.1: Macro fluxo grama do processo produtivo – elaborado pelo autor

O fluxograma foi apresentado à gerência industrial e de supply chain, que validaram os caminhos de produção e fizeram as adições necessárias.

O processo tem início com a chegada da matéria-prima, o sal nylon, que é enviado diariamente para a planta de produção. Alojado em silos, começa a sofrer processos seguidos de aquecimento e resfriamento, transformando-se em um polímero granulado. Esta primeira etapa do processo é conhecida como polimerização.

O processo continua e o polímero formado na etapa anterior é enviado ao processo seguinte, a fiação, onde as máquinas aquecem e misturam a massa, saindo no final desta etapa o fio já formado e enrolado em bobinas. Porém existem 4 tipos de máquinas de fiação, que devido a diferenças de velocidade de produção e forma de aquecimento da massa formam produtos diferentes. Estão distribuídas da seguinte forma:

- *Fiação LOY (Low Oriented Yarns):* produzem fios com baixa orientação molecular, que precisam de processamentos posteriores para serem comercializados.
- *Fiação MOY (Medium Oriented Yarns):* produz fios com uma orientação molecular superior ao LOY e com maior velocidade de processamento, porém ainda não totalmente prontos.
- *Fiação POY (Partially Oriented Yarns):* produz fios parcialmente orientados, com um nível de qualidade superior mas que, dependendo da aplicação, ainda necessitam passar por outros processamentos. Ao contrário do LOY e MOY, este fio já pode ser vendido a clientes que comprem o fio semi-estirado para completar a sua formação.
- *Fiação Fibra:* fiação especial que produz filamentos mais robustos que os têxteis para o uso em carpetes, esponjas para lavar louças, etc. Apesar de estarem no perímetro de produção têxtil, são comercializados por outra unidade de negócios.

Esta parte do processo é contínua, pois as máquinas geram fios ininterruptamente. Qualquer parada de máquina representa um alto índice de geração de refugo, já que todo o polímero no interior da máquina é desperdiçado, sem considerar que todo relançamento implica num período inicial de produção desclassificada, que nas máquinas LOY pode chegar até 1 dia.

Ao final desta etapa, as bobinas são colocadas em carrinhos e são levadas até a área de condicionamento. Segundo pesquisas, estes tipos de fios necessitam de um período de 8 a 12 horas onde devem permanecer sob temperatura controlada e sem nenhum tipo de processamento. Sob estas condições, o fio termina o seu rearranjo molecular, estabilizando-se para que os produtos das etapas seguintes sejam satisfatórios.

Ao término do período de condicionamento, são possíveis três diferentes caminhos para a produção: a estiragem, a texturação ou a venda direta ao cliente.

A estiragem é um processo que consiste no alongamento do fio, através de dois cilindros que giram em velocidades diferentes. Após este tratamento, o fio (que pode ser LOY, POY, MOY ou Fibra) adquire as características ideais para o processamento em malharias circulares. Na sequência, a produção desta etapa é enviada para o armazém, de onde sairá para abastecer os clientes.

A texturação é um processo que consiste no estiramento e torção do filamento, que acaba adquirindo uma condição ondulada. Uma parte da produção de POY e o restante da produção de LOY que não foram direcionados para a estiragem são enviados para esta etapa. Na texturação, podem ocorrer três diferentes tipos de tratamento: torção, dupla torção ou falsa torção, onde o filamento é torcido e destorcido na sequência.



Figura 4.2: Diferença entre os fios lisos (estirado) e texturizado

A venda direta acontece apenas com os fios MOY e POY, pois alguns clientes possuem máquinas estiradeiras e/ou texturadoras. Nesta configuração, os fios saem do condicionamento e vão para a área conhecida como Escolha/Embalagem, onde ocorre a triagem da produção, separando a parcela que não atende a todas as especificações do cliente (2ª escolha, que também é vendida mas a um preço mais baixo) da produção de boa qualidade que é paletizada e enviada ao armazém, para futura distribuição.

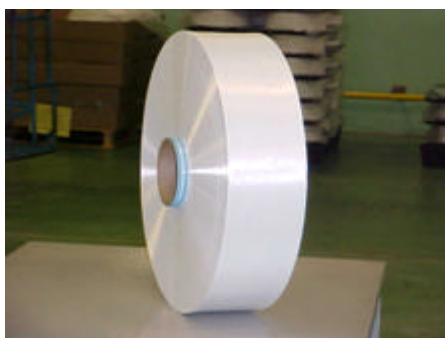


Figura 4.3: Bobina da fiação POY – Fonte interna

4.2.2. Planejamento da Produção

O planejamento e programação da produção dos fios têxteis baseiam-se principalmente na etapa de fiação. Antes do início do mês, os representantes da área comercial reúnem-se com a gerência de supply chain para passar qual é a previsão de vendas por produto para o mês seguinte. A partir deste contato, a área de supply chain passa as necessidades de produção ao PCP, que programa em quais máquinas determinado tipo de fio vai rodar e por quantos dias. Se alguma incongruência for percebida, como por exemplo a impossibilidade de fabricar certa quantidade de um determinado produto, o PCP passa ao Supply Chain o problema e, ao consultar a área comercial, escolhe quais clientes terão preferência para terem seus pedidos atendidos.

Após o programa ser finalizado, é comunicado a todas as áreas qual será o mix de produção para o mês corrente. Ao processo anterior, a polimerização, é informado a quantidade de polímero que será consumida. Nos processos posteriores, alguns possuem importância maior e as quantidades designadas são respeitadas, no caso da texturação e a venda direta. Porém, a

estiragem recebe não somente a produção designada, mas também as sobras de fios que não foram para os outros processos (basicamente 2ª escolha, já que a texturação e a venda direta trabalham apenas com 1ª escolha), o que dificulta uma correta programação das máquinas.

Desta forma, percebe-se que o planejamento funciona da seguinte forma: “puxa” a quantidade de polímero para a fiação e “empurra” a produção para os processos subsequentes. Este quadro agrava-se mais pois a programação é feita em planilhas do excel, de forma determinística, considerando um rendimento para cada tipo de máquina e fio que não condiz com a realidade. Somado ao problema da concretização da carteira de pedidos, acaba provocando muitas reuniões para reprogramar a produção da fábrica, que geram duas consequências: mudar o mix de produção acarreta em paradas de máquinas e perda da OEE, e manter o programa do mesmo modo implica não atender adequadamente a todos os clientes, ou então produzir uma quantidade muito maior do que a solicitada, aumentando os estoques, sendo ambas as situações indesejáveis para a empresa.

4.3. Definição do escopo - Justificativa

Após a apresentação do processo produtivo e do modo de operação do PCP na empresa, deparamo-nos com uma situação que envolve diversos caminhos de produção, assim como um grande mix de produtos e máquinas de funcionamento totalmente diferentes. Diante deste cenário, torna-se importante delimitar o perímetro de atuação deste presente trabalho, com o objetivo de focar nas etapas e/ou processos relevantes e que apresentem uma maior possibilidade de análise e execução de melhorias.

Desta forma, pretende-se estudar e propor um modelo envolvendo simulação computacional para auxiliar as tarefas de PCP na **etapa da fiação POY**. Esta escolha justifica-se pelos seguintes motivos:

- Representam a maior parte das vendas da empresa, com uma tendência de aumento da demanda para o futuro em função da aquisição de mais maquinário;

- As máquinas de fiação POY são mais novas e a quantidade de dados disponíveis sobre seu funcionamento são maiores e mais confiáveis;
- Os produtos provenientes das máquinas POY trazem uma maior margem de contribuição para a empresa do que os produtos de outras linhas e exatamente por este motivo o seu planejamento é mais crítico, pois um fio acabado POY não vendido representa um aumento substancial no valor do estoque total (capital empatado), e o custo do não-atendimento de uma venda deste produto, basicamente por falta de produção, gera uma perda de receita importante, além de diminuir a satisfação geral do cliente;

A proposta de delimitação do escopo foi apresentada para a gerência industrial, que aceitou as justificativas e deu total apoio para a realização do trabalho. Para auxiliar no processo de coleta de dados e informações específicas do processo de fiação, indicou um controlador de processo do setor, que possui todas as referências com relação a dados de quebras, rendimentos das máquinas e características de operação. Também foi designado um analista da área técnica, com larga experiência em simulação computacional, que ajudaria o autor a traçar as restrições do processo produtivo, principais pontos crítico e, principalmente, quais variáveis influenciam e em que grau a produção das máquinas da fiação POY.

4.4. Detalhamento do processo

4.4.1. Fiação POY

Após a delimitação do escopo do problema, torna-se necessário um maior detalhamento das partes a serem estudadas, para facilitar a compreensão do processo e possibilitar a correta modelagem do sistema.

A fiação é o processo responsável pela formação do fio de poliamida, através do aquecimento do polímero e posterior extrusão da massa fundida, formando os filamentos.

As máquinas de fiação possuem diversas entradas de polímeros, e estas entradas são denominadas posições. A matéria-prima é enviada por pressão pneumática pelos dutos e entra no

silo da posição, onde ocorre o aquecimento até ser obtido o estágio de semi-fusão, formando a chamada “massa polimérica”. Após o aquecimento, a massa é liberada para a parte de baixo da posição, passando do silo para a região onde se encontram os cabeçotes, sendo que cada posição possui dois cabeçotes. Dentro de cada cabeçote, existe a chamada “bomba de título”, que é o mecanismo responsável por dar as características primárias do fio (quantidade de massa e velocidade de enrolamento do fio nas bobinas).

Na sequência, a massa é empurrada em direção à fieira, que se trata de um disco com pequenos orifícios, por onde a massa é extrudada e toma a forma de filamentos. Cada cabeçote possui duas fieiras diferentes, e o produto de cada fieira forma três bobinas, gerando um total de 6 bobinas por cabeçote e 12 bobinas por posição, conforme mostra a figura 6.

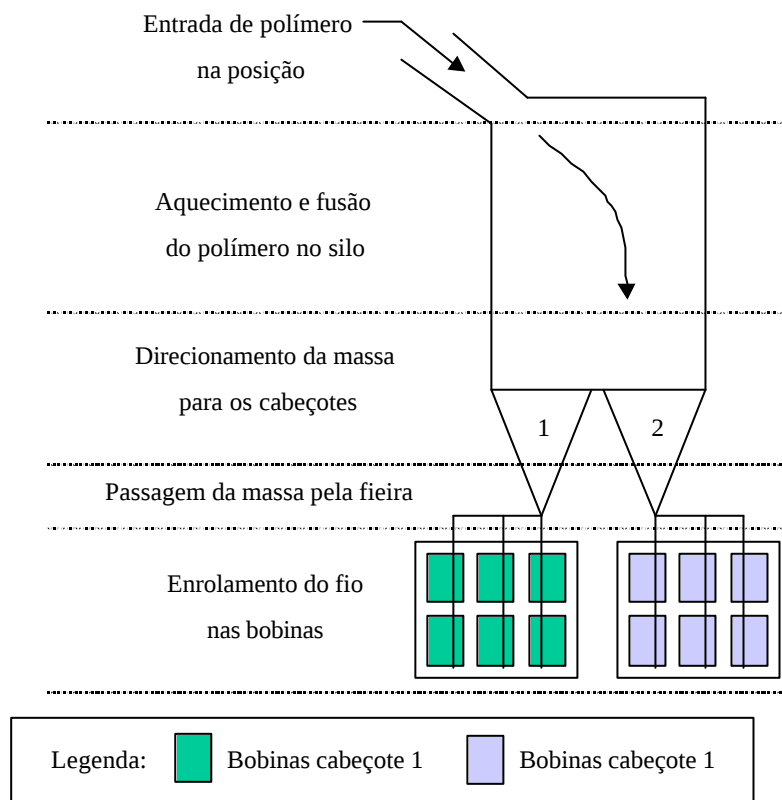


Figura 4.4: Esquema de funcionamento de uma posição de uma máquina da fiação
Elaborado pelo autor

A fiação POY é composta por 6 máquinas. Cada máquina possui certo número de grupos de posições, que mesmo pertencentes a uma mesma máquina podem ter funcionamentos independentes, ou seja podem produzir tipos de fios diferentes. Cada um destes grupos de posições é conhecido como autonomia.

Das 6 máquinas da fiação POY, existem 5 máquinas que possuem duas autonomias e 1 que possui três autonomias. A título de simplificação, passaremos a nomear as máquinas por números de 1 a 6 e as autonomias de cada máquina por letras, de acordo com o esquema abaixo

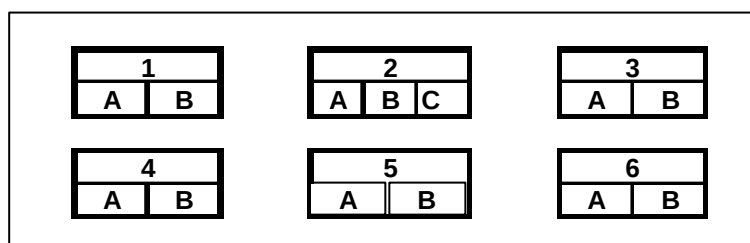


Figura 4.5.: Distribuição das máquinas e suas autonomias respectivas

Elaborado pelo autor

O número de autonomias determina a quantidade máxima de fios diferentes que a máquina pode produzir, pelo fato de possuir formas de alimentação de polímero independentes. Por exemplo, as máquinas com duas autonomias podem produzir um tipo de fio (se as duas autonomias forem reguladas para produzir o mesmo produto) ou dois tipos, com regulagens diferentes, sendo este o número máximo de títulos passíveis de produção por esta máquina.

Cada autonomia possui certo número de posições, de acordo com a tabela 4.1.

Tabela 4.1: Distribuição de máquinas, autonomias e número de posições da fiação POY

Máquina	Autonomia	Posições	Bobinas
1	1A	10	120
	1B	2	24
2	2A	6	72
	2B	3	36
	2C	1	12
3	3A	5	60
	3B	5	60
4	4A	6	72
	4B	6	72
5	5A	6	72
	5B	6	72
6	6A	6	72
	6B	6	72
Total Máquinas			6
Total Autonomias			13
Total Posições			68
Total Bobinas			816

Desta forma, conforme se pode ver na tabela, podem ser feitos até 13 tipos de fio diferentes ao mesmo tempo, num total de 816 bobinas por rodada de produção.

4.4.2. Produtos POY

Atualmente, estão disponíveis para produção e posterior venda nove produtos diferentes, que variam entre si principalmente pela quantidade e massa dos filamentos que formam o fio. Da mesma forma como procedeu-se com as máquinas, iremos nomear os produtos de agora em diante por letras, indo de A até I.

Conforme mencionado anteriormente, a fiação é um processo contínuo, já que a máquina é alimentada por polímero constantemente, e não para de funcionar (a não ser que ocorra a decisão de não lançar uma posição, ou em caso de acidente). Porém, o fio formado é retirado da máquina em bateladas, respeitando um determinado tempo de enrolamento, que varia entre os produtos. Este processo, conhecido como “virada”, funciona da seguinte forma: uma posição é ligada, ou seja, ativa-se a entrada de polímero na máquina, começando a gerar o fio que é enrolado na bobinas. Após um determinado tempo, as bobinas atingem o tamanho suficiente para seguirem o fluxo no processo produtivo. Quando este tempo expira, as bobinas são retiradas da

máquina, sendo colocadas em seu lugar bobinas vazias que imediatamente recomeçam a enrolar o fio.

Cada bobina, após sair da fiação e passar pelo condicionamento, é analisada e classificada como 1ª ou 2ª escolha. Produtos classificados como 1ª escolha possuem qualidade assegurada em todas as características críticas do fio, como por exemplo afinidade tintorial (capacidade de absorção de corantes) e distribuição homogênea na malha (ao ser tingido, o tecido não apresenta listras e nem irregularidades). Em contrapartida, a 2ª escolha não possui pelo menos uma das características citadas acima, e é vendida a um preço menor que a 1ª escolha.

Outro fator importante no processo e que deve ser levado em consideração são as restrições quanto às possibilidades de processamento dos produtos nas máquinas. Devido a particularidades de funcionamento e forma de ajuste, alguns fios não podem ser produzidos em determinadas máquinas, pois a produção resultante pode não obter a qualidade esperada. De acordo com a tabela 2, podemos ver os tempos de virada de cada produto, além das restrições de produção.

Tabela 4.2: Tempos de virada e restrições de produção por autonomia

Produtos	Tempo de virada (min)	Autonomias												
		1A	1B	2A	2B	2C	3A	3B	4A	4B	5A	5B	6A	6B
A	540													
B	360													
C	304													
D	304													
E	304													
F	304													
G	304													
H	304													
I	304													

É possível separar os produtos em duas categorias: produtos com alto potencial de produção, (C, D, E e G), e produtos com baixo potencial de produção (A, B, F, H e I). Os de baixa produção concentram-se na máquina 2, que possui uma maior flexibilidade em termos de acertos e é bastante utilizada para ensaios da área técnica, no desenvolvimento de novos fios.

Vale ressaltar que somente é permitido fazer um tipo de produto por autonomia, já que produzir dois produtos em uma mesma autonomia é, apesar de tecnicamente possível, extremamente custoso pois significa alterar os acertos ao longo das posições. Desta forma, cabe ao PCP definir, antes do início de cada mês, qual autonomia será responsável por produzir cada produto e também a quantidade de posições que funcionarão por autonomia.

4.4.3. Alterações do processo – falhas e acidentes

Como todo processo, a fiação POY está sujeita à ocorrência de falhas e acidentes, que influenciam decisivamente na qualidade e na quantidade de produção. Em linhas gerais, as falhas no processo de fiação POY ocorrem em três lugares distintos: no silo, nos cabeçotes ou na bobina.

As falhas de aquecimento do silo são as mais graves e são conhecidas como “pulsação”. Quando a quantidade de calor gerada não atinge o polímero fundido de forma completa, esta diferença provoca defeitos que inutilizam os fios produzidos. Para efetuar o conserto, deve-se parar a posição e fazer uma limpeza do silo, gerando como refugo todo o material contido em seu interior e parando o enrolamento.

As falhas no cabeçote implicam na parada do enrolamento das 6 bobinas subjugadas, que são retiradas para a colocação de bobinas vazias, já que é impossível emendar o fio que foi partido. Durante o tempo de troca, ocorre a geração de refugo pois a máquina não para de funcionar. Após a troca, as bobinas vazias continuam o enrolamento, até que o tempo de virada termine ou haja outra quebra, quando o procedimento deve ser repetido.

Como o tempo de virada é fixo, a ocorrência de quebras gera um problema adicional: tanto a bobina substituída quanto a nova não passarão o tempo de virada inteiro enrolando fio, ficando com um tamanho menor do que o normal. Estas passam a ser denominadas de bobinas incompletas (BI), e geram algumas complicações para os processos posteriores à fiação, como por exemplo a estiragem, onde o processamento é feito por bateladas e a existência de BI's faz com que as máquinas não utilizem toda a sua capacidade de produção.

As falhas na bobina ocorrem quando o enrolamento apresenta algum tipo de defeito, como por exemplo uma falha do operador na virada, ou um rompimento de fio abaixo do cabeçote, que não permita o enrolamento apenas em uma bobina. Para este tipo de quebra o procedimento é trocar as 3 bobinas correspondentes à fieira onde ocorreu a quebra, pois principalmente no caso de rompimento de fio, este pode atrapalhar o enrolamento das outras bobinas.

Resumindo, as falhas influenciam negativamente no processo pois diminuem o tempo de máquina em funcionamento, aumentando a quantidade de BI's e de refugo gerado.

4.4.4. Mão-de-obra

Em virtude do funcionamento 24 horas da fábrica, existem 3 turnos de trabalhos de 8 horas cada. De todo o efetivo, que inclui funcionários da área de manutenção, limpeza, controladores de processo e supervisores, consideraremos apenas os operadores ligados diretamente à produção, já que são os únicos relevantes para a construção e análise de ocupação da mão-de-obra no modelo.

Por turno, existem 8 funcionários responsáveis pelo andamento da produção. Existem 3 horários para que os operadores possam fazer a refeição, na terceira, quarta ou quinta hora do turno, sendo que no máximo podem se ausentar 3 operadores por horário.

As principais atividades que os funcionários têm que desempenhar são as seguintes:

- Efetuar as viradas no tempo correto: ao expirar o tempo de enrolamento de uma autonomia, dois operários dirigem-se à máquina em questão, retiram as bobinas cheias de fio e colocam bobinas vazias;
- Atender aos alarmes de quebra e retomar a produção: quando ocorrer algum tipo de quebra, um operador tem que se dirigir até o local e avaliar a falha ocorrida: se esta aconteceu nas bobinas, ele próprio retira a bobina e coloca outra em seu lugar. Se o defeito ocorreu no cabeçote, com a ajuda de outro operador são substituídas as 6 bobinas afetadas e relança-se o

fio. Porém, se ocorreu pulsação, três operários são ocupados com as atividades de reparo, manutenção e relançamento;

4.5 Aplicação do método

4.5.1 Considerações gerais

Depois de feita a descrição completa do sistema que se pretende estudar, seguiremos as 7 etapas descritas no capítulo anterior para o desenvolvimento de um projeto de simulação computacional.

4.5.2. Definindo o problema

A EMPRESA possui um processo de produção bastante encadeado, onde cada operação depende das outras subsequentes. Desta forma, o acesso a informações que traduzam o que realmente acontece na fabricação é fundamental para a decisão sobre a programação da produção das etapas seguintes, quando deve ser feito o faturamento dos pedidos dos clientes e como será montado o cronograma de entregas dos produtos.

O principal problema consiste no fato de que na fiação, principal processo de fabricação, não existem informações suficientes sobre o andamento das operações, principalmente no que concerne a produção diária, já que só são realizadas pesagens de produção no final do fluxo produtivo da fábrica, mais especificamente nos setores de escolha/embalagem e no armazém. Em outras palavras, o inventário do estoque intermediário logo após a fiação é feito de forma aproximada, sendo bastante suscetível a erros de contagem.

Além deste fato, o planejamento não considera as variações aleatórias existentes no processo, como o índice de refugo e 2ª escolha gerados ou a ocorrência de quebras. A média utilizada para simplificação, na maioria das vezes, não representa o real estado das operações na fiação.

Outra questão bastante pertinente refere-se à taxa de ocupação de mão-de-obra. Com uma crescente pressão por redução de custos e melhor utilização dos recursos disponíveis, é imprescindível saber de que forma este recurso está sendo consumido e se há oportunidade de uma otimização.

Portanto, decidiu-se pela construção de um modelo de simulação computacional que pretende obter as seguintes respostas:

- Produção total de cada produto;
- Número total de quebras durante o mês divididas entre os três principais motivos (posição, cabeçote e bobina);
- Produção total de refugo;
- Taxa de utilização da mão-de-obra
- OEE das máquinas (*)

A decisão pela realização do projeto surgiu pela crescente necessidade de informações e pela alta quantia de dinheiro envolvida, já que erros de programação podem acarretar ou um aumento substancial do estoque, aumentando por consequência o capital empatado da empresa, ou atrasos e falta de produção para os clientes, o que causa insatisfação nos mesmos e às vezes até multas, dependendo do tipo de acordo comercial feito.

Ficou decidido que o escopo do projeto envolverá a **fiação POY**, por motivos descritos no item 4.3.

Os resultados do modelo serão apresentados para as gerências industrial e de supply chain, que são os principais interessados na obtenção das informações. Pretende-se também inserir o modelo na rotina de operações do PCP, que passaria a fazer a programação da produção a partir das respostas das rodadas de simulação realizadas.

(*) Teoria para o cálculo de OEE – ver Apêndice 1

4.5.3. Identificação das variáveis

Conforme observado na parte de revisão bibliográfica, este passo do desenvolvimento de um projeto de simulação computacional pode ser dividido em duas partes: restrições físicas, onde será abordado o tema de facilidade de acesso aos recursos para a realização do projeto, e a identificação de variáveis do sistema em si, onde o sistema será estudado para a avaliação de quais variáveis influenciam no processo e quais serão consideradas para a elaboração do modelo.

4.5.3.1. Restrições físicas

Para a realização do presente trabalho, alguns recursos devem estar inteiramente ou parcialmente disponíveis para que os objetivos especificados sejam atingidos. Dentre estes podemos listar:

- **Conhecimento do software Arena de simulação:** o autor do presente trabalho foi apresentado à teoria sobre simulação computacional em aulas do departamento de Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo -USP. Com relação aos conhecimentos específicos sobre o software de simulação Arena, fez um workshop de 3 dias sobre simulação computacional na EMPRESA e passou a desenvolver alguns projetos que visavam a otimização de operações nos processos e no transporte da fábrica, onde a utilização do software foi incentivada;
- **Disponibilidade do software:** o autor tinha acesso ao Arena através dos computadores da EMPRESA, onde a versão estudantil do software estava instalada. Também possuía a mesma versão no seu computador pessoal e, para quando necessitasse da versão completa podia contar com os computadores da Engenharia Naval da Universidade de São Paulo – USP, que utiliza largamente o programa na simulação das forças na estrutura dos navios e também na questão logística e de operações, como por exemplo o dimensionamento do número de docas no porto;

- **Acesso aos dados e informações sobre o processo:** o acesso aos dados fica bastante facilitado pois o autor faz estágio na EMPRESA base para a realização do trabalho. Mesmo assim, a gerência industrial designou um controlador de processo, que seria responsável por orientar o autor na obtenção e análise dos dados, além de um supervisor de fabricação da fiação POY que poderia explicar em detalhes as características da operação e as variáveis que influenciam no processo. De qualquer forma, há o risco de que a rotina normal de trabalho impeça que os funcionários participem do projeto;

A partir da identificação dos fatores externos ao projeto que podem influenciar no seu desenvolvimento, pode-se gerenciar estes riscos de forma mais consciente e assim evitar efeitos não desejados de suas ocorrências.

4.5.3.2. Variáveis do modelo

Através do conhecimento adquirido durante a realização do estágio pelo autor e de algumas reuniões com o supervisor e controlador de processo, definiu-se quais variáveis seriam consideradas no modelo e como seriam tratados cada um dos efeitos no processo.

Para esta etapa foi de fundamental importância nortear as escolhas tendo em mente que o nível de detalhe influencia diretamente no esforço de programação a ser feito e, algumas vezes, acaba até por inviabilizar o projeto de simulação.

Assim, procurou-se focar especialmente nos eventos que afetam alguns dos itens citados na definição do problema (item 4.2.1). Para uma melhor visualização do processo na fiação POY, temos o seguinte fluxograma:

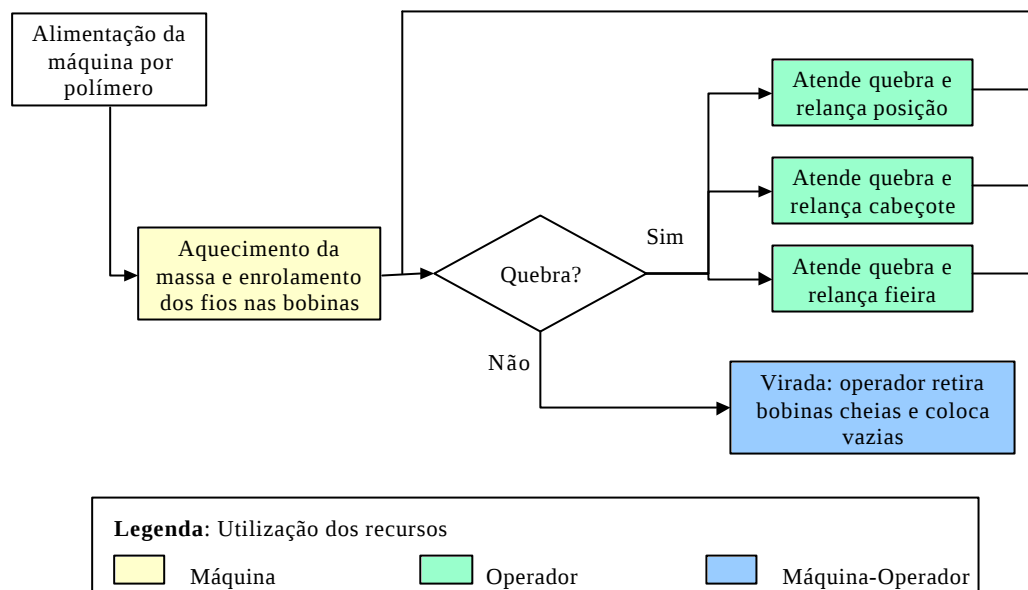


Figura 4.6: Fluxograma do ciclo de operações da fiação POY
Elaborado pelo autor

O tempo de enrolamento do fio varia conforme o produto. Porém, o tempo de virada, onde o operador descarrega as bobinas da máquina e carrega com bobinas vazias, é fixo e corresponde a 7 minutos por posição, ficando sujeito apenas a variações normais dos operadores no processo. As máquinas são programadas de forma que a virada não aconteça simultaneamente em mais do que 2 autonomias, pois a mão-de-obra disponível não seria suficiente para realizar esta tarefa.

O processamento é feito de forma contínua, e somente ocorre algum tipo de interrupção quando o planejamento decide pela desativação de uma determinada autonomia ou posição ou quando ocorrem quebras. Neste ponto, ao se discutir com os envolvidos no projeto, tornou-se claro que não poderíamos considerar todos os tipos de quebra separadamente, pois passavam de 30 tipos diferentes. Como na verdade o que interessava para a simulação era o tempo que a máquina ficava parada e que o (s) operador (es) despendiam para consertá-la e voltar ao funcionamento, decidiu-se pela classificação dos defeitos de acordo com o tipo de influência no processo, ou seja, se para um determinado tipo de quebra havia uma troca de 12 bobinas (problemas na posição), 6 (problemas no cabeçote) e 3 (problemas na bobina que resultavam na troca de todas as bobinas da fieira correspondente).

Ainda com relação às quebras, através de conversas com o controlador de processos da fiação POY, foi definido que os dados sobre as quebras e o tempo médio de refugo seriam divididos em dois grupos de máquinas, que por diferenças técnicas como forma de alimentação do polímero, regulagem para aquecimento da massa e facilidade de acesso à manutenção, possuem características de funcionamento e de falhas bastante diferentes. O primeiro, a partir deste momento denominado Grupo 1, será formado pelas máquinas 1, 4, 5 e 6, e outro, formado pelas máquinas 2 e 3, como Grupo 2.

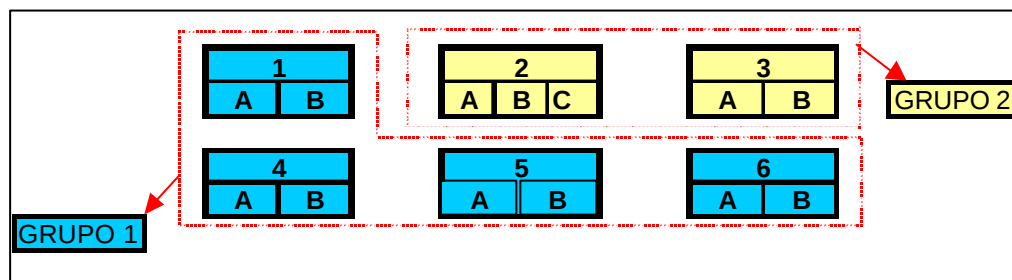


Figura 4.7: Separação de grupos de máquinas por defeito
Elaborado pelo autor

Outro fator importante e que influencia diretamente a produtividade e a OEE das máquinas é a geração de refugo e produtos de 2ª qualidade. O planejamento de produção não contempla a produção de 2ª escolha, mas deve considerar que uma parcela da produção da fiação POY não possui todas as características de um produto de boa qualidade, não podendo ser destinada para aplicações têxteis críticas. Porém, mesmo a 2.a escolha é vendida a preços menores e a mercados sem tantas especificações de qualidade, como por exemplo meias e produtos com tingimento preto.

Desta forma, considerando todas as observações feitas neste item além da descrição do processo presente no início do capítulo, temos a seguinte relação de variáveis, divididas em dois setores: dados de entrada e dados de saída.

Tabela 4.3: Dados de entrada e de saída do modelo

Dados de entrada	
Tipo	Unidade
Tempo de enrolamento por produto	min
Tempo de virada	min
Intervalo entre quebras de posição (grupos 1 e 2)	min
Intervalo entre quebras de cabeçote (grupos 1 e 2)	min
Intervalo entre quebras de bobina (grupos 1 e 2)	min
Tempo para atendimento de quebra de posição	min
Tempo para atendimento de quebra de cabeçote	min
Tempo para atendimento de quebra de bobina	min
Velocidade de enrolamento por produto	g/min
Índice de 1a. Escolha	%
Operadores por tipo de quebra	unid
Dados de saída	
Tipo	Unidade
Produção 1a. escolha por produto	ton
Produção 2a. escolha por produto	ton
Número de quebras por tipo	unid
Taxa de ocupação da mão de obra	%
OEE das máquinas	%
Refugo total	ton

Os dados de entrada apresentam diferentes características entre si, principalmente no que se refere à variabilidade de suas ocorrências. Para alguns serão considerados um tempo padrão constante, sem variação. Para aqueles em que a variabilidade é uma componente importante e que não pode ser desprezada, as amostras serão analisadas através do módulo do Arena conhecido como Input Analyzer, onde é feito um teste de aderência para a determinação da distribuição de probabilidades mais adequada para cada caso.

4.5.4. Coleta de dados

Com a definição do escopo do problema e dados de entrada, deve-se seguir para o próximo passo de um projeto de simulação computacional, a coleta de dados. A EMPRESA possui uma vasta base de dados onde a maioria das informações requeridas estavam disponíveis, precisando em alguns casos apenas de alguma adaptação (mudança de unidade) para serem utilizadas no modelo. Veremos as particularidades de cada caso nos tópicos a seguir.

4.5.4.1. Tempo de enrolamento por produto

Os tempos de enrolamento por produto estão descritos na tabela 4.2 (p. 38) , onde também é possível verificar as restrições de produção em cada máquina.

O tempo de enrolamento é fixo para cada produto. Porém, como faz parte do tempo de enrolamento também a operação de virada, suscetível a uma variabilidade em função da ação do operador neste processo, optou-se pela separação entre o tempo que a máquina enrola o fio sem a ação do operador e o tempo que o operador está retirando as bobinas. Desta forma, consideramos como tempo de enrolamento a etapa onde a máquina funciona sem a interferência do operador. Este tempo é fixo, conforme a tabela abaixo, e será descontado o tempo de virada, que será visto em detalhes mais adiante.

Tabela 4.4: Tempo de enrolamento por produto

Produtos	Tempo de enrolamento (min)
A	533
B	353
C	297
D	297
E	297
F	297
G	297
H	297
I	297

4.5.4.2. Tempo de virada

De forma complementar à explicação do item anterior, o tempo de virada será definido como o tempo em que os dois recursos (operador e máquina) estão ocupados, ou seja, quando o operador retira as bobinas da máquina passado o tempo determinado em função do produto produzido.

O tempo a ser seguido para esta operação foi determinado em 7 minutos por posição, que deveriam ser constantes. Porém, como esta tarefa é realizada por pessoas, está sujeita a variações

que influenciam no tamanho das bobinas, pois se a virada é feita com menos de 7 minutos as bobinas saíam da máquina um pouco menores, de forma análoga acontecendo se este tempo é ultrapassado.

Portanto, foram coletados os tempos de virada durante uma semana e foram obtidas 50 medidas.

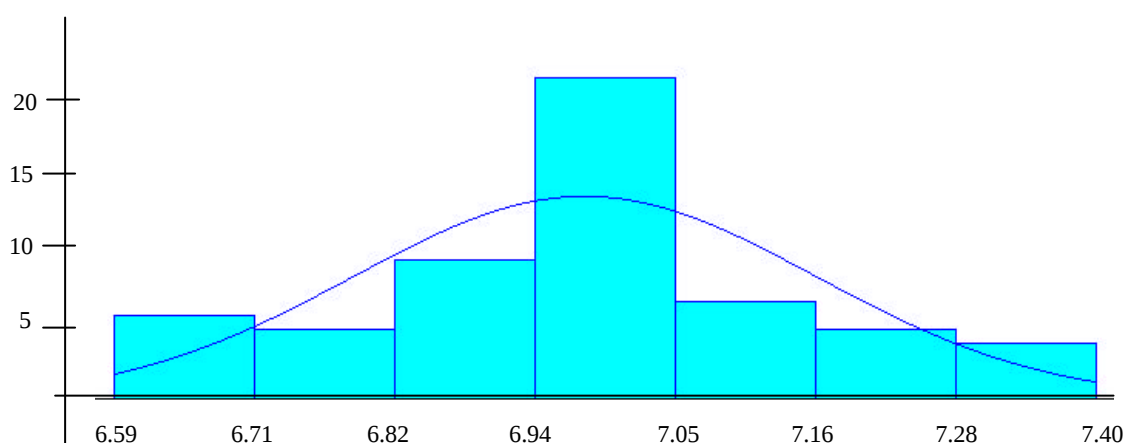


Figura 4.8: Histograma do tempo de virada

Tabela 4.5: Parâmetros da amostra e distribuição estatística para o tempo de virada

Estatística	
Distribuição	Normal
Expressão	NORM(6.98, 0.19)
Erro	0.033363
No. de pontos	60
Menor valor	6,66
Maior valor	7,33
Média	6,98
Desvio padrão	0,192

4.5.4.3. Intervalo entre quebras – grupo 1

Nesta parte estudaremos apenas os dados das máquinas pertencentes ao grupo 1 (máquinas 1,4,5 e 6). Como os dados sobre intervalos entre quebras não existiam, e seria inviável obter este dado por meio de tomada de tempos ou anotações dos operadores, decidiu-se pelo seguinte procedimento:

- Considerar todas as quebras destas 4 máquinas de forma indistinta, ou seja, agrupar os três tipos de quebras e a partir do número de quebras por tonelada produzida tirar o intervalo entre as ocorrências;
- Verificar entre o número total de quebras qual a contribuição de cada tipo para o todo, obtendo proporções;
- Na falta de dados precisos, e devido à grande oscilação de ocorrências no tempo, será utilizada a distribuição exponencial para descrever o intervalo entre quebras.

Outro fator que será considerado para a distribuição das quebras entre as máquinas é que aquelas pertencentes a um mesmo grupo possuem chances iguais de quebrar, variando a ocorrência de quebras apenas em função do número de posições de cada autonomia. Na prática ocorrem pequenas diferenças entre as máquinas, mas que não são consideradas significativas, portanto desde já assume-se que o padrão de quebras entre máquinas de um mesmo grupo não varia.

Desta forma, temos o seguinte cálculo para as quebras do grupo 1. A base para os cálculos foi o indicador de quebras por tonelada, com média 1,27 nos últimos 6 meses.

Tabela 4.6: Cálculo do tempo entre quebras – grupo 1

Tempo total, 1 mês em min (A)	43200
Soma do no. de quebras por mês nas máquinas do grupo 1 (considerando todas as posições em funcionamento) (B)	962
Posições totais disponíveis (C)	48
Posições em funcionamento (D)	X
Tempo entre quebras $A/(B*D/C)$	$43200/(962*X/48)$

A distribuição entre os 3 tipos de quebras, também considerando a média dos últimos 6 meses, é a seguinte:

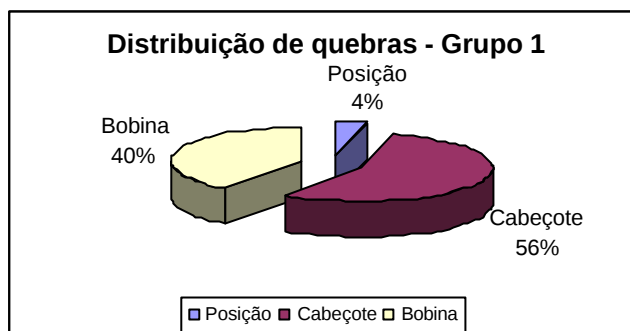


Figura 4.9: Distribuição do dos motivos de quebras – grupo 1
Elaborado pelo autor

4.5.4.4. Intervalo entre quebras – grupo 2

O cálculo do intervalo de quebras do grupo 2 foi feito de forma análoga ao apresentado no item anterior, sendo que as hipóteses levantadas continuam verdadeiras. Para a média dos últimos 6 meses, temos os seguintes dados.

Tabela 4.7: Cálculo do tempo entre quebras – grupo 2

Tempo total, 1 mês em min (A)	43200
Soma do no. de quebras por mês nas máquinas do grupo 2 (considerando todas as posições em funcionamento) (B)	591
Posições totais disponíveis (C)	20
Posições em funcionamento (D)	X
Tempo entre quebras $A/(B*D/C)$	$43200/(591*X/20)$

É possível notar que o número de quebras do grupo 2 é menor do que o apresentado no grupo 1, porém proporcionalmente vê-se que as máquinas deste grupo apresentam índices de quebras mais elevados do que o grupo 1, o que justifica a separação em dois grupos distintos.

A proporção entre quebras também é diferente e segue a proporção abaixo.

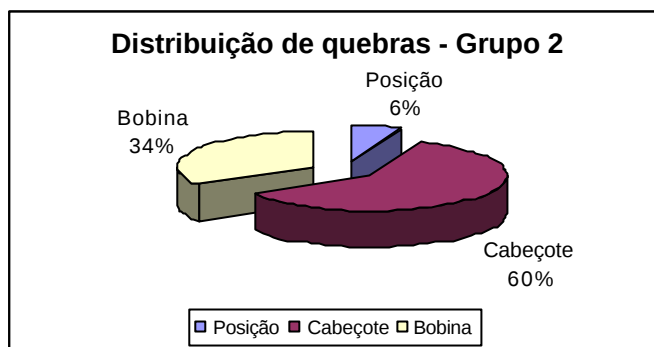


Figura 4.10: Distribuição entre tipos de quebras – grupo 2

Elaborado pelo autor

Além do fato de que as quebras são mais frequentes neste grupo, pelo gráfico pode-se analisar que as quebras de maior impacto (posição e cabeçote) representam 66% do total, contra 60% do grupo anterior, o que influencia diretamente na produtividade destas máquinas.

4.5.4.5. Tempo de atendimento para quebras de posição

A quebra de posição é o tipo de quebra com consequências mais drásticas para o processo. Afetam todas as 12 bobinas subjugadas a ela, e pela natureza deste defeito os operadores têm que abrir as engrenagens e limpar toda a posição, o que demanda uma grande quantidade de tempo. Porém este tipo de quebra é menos comum, comparado com as quebras de posição e bobina.

O tempo de atendimento de quebras entre os dois grupos não apresenta diferenças significativas, portanto serão considerados iguais, seguindo o padrão da análise dos dados na figura abaixo.

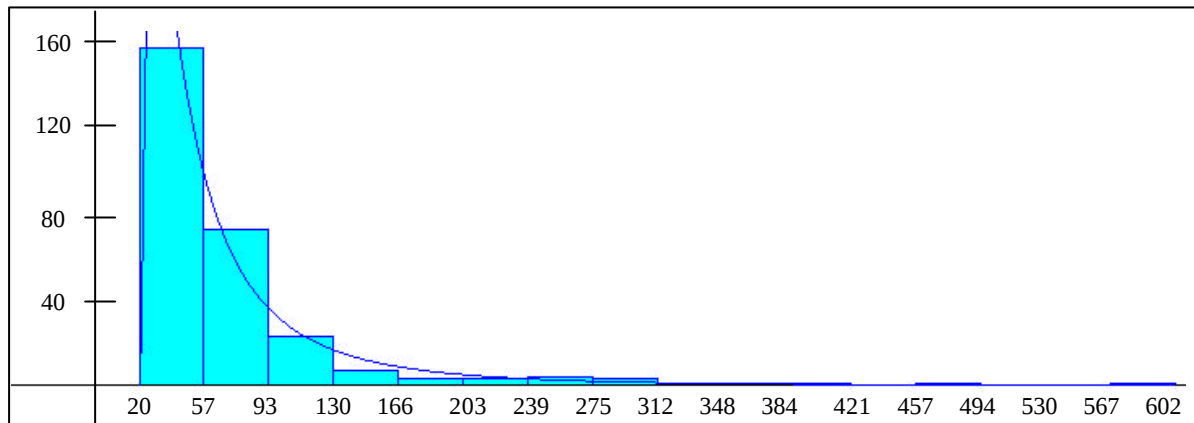


Figura 4.11: Histograma do tempo para atendimento de quebra de posição (em min)

Tabela 4.8: Parâmetros da amostra e distribuição estatística para o tempo de quebra de posição

Estatística da amostra	
Distribuição	Log Normal
Expressão	$20 + \text{LOGN}(54.7, 85.4)$
Erro	0.002870
No. de pontos	274
Menor valor	20,3
Maior valor	601
Média	71,3
Desvio padrão	68,4

4.5.4.6. Tempo para atendimento de quebras de cabeçote

As quebras de cabeçote representam a maior ocorrência de falhas no processo da fiação POY. Devido a inúmeros motivos, sempre que acontece uma quebra deste tipo é necessário além do reparo trocar todas as 6 bobinas correspondentes ao cabeçote em questão.

Os dados estão disponíveis na base de dados da EMPRESA e os resultados são os seguintes:

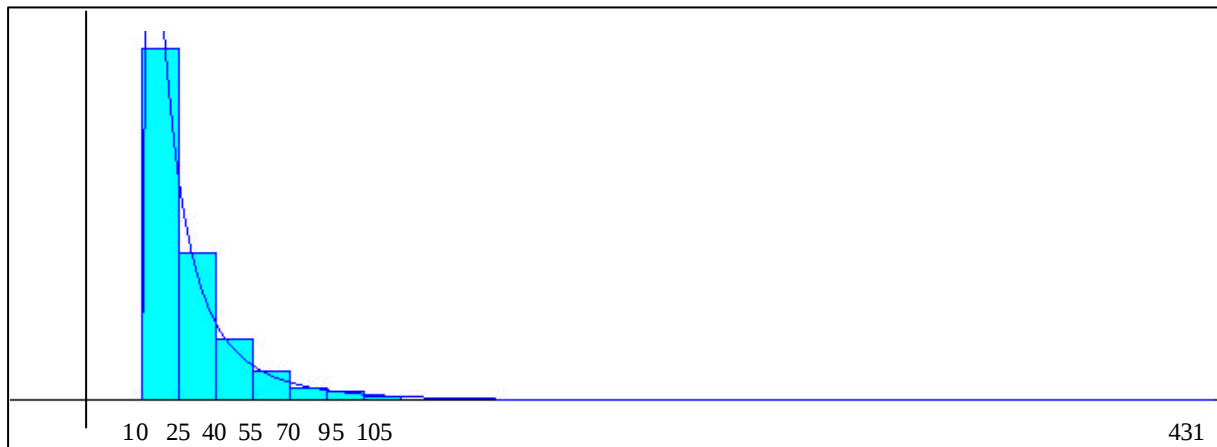


Figura 4.12: Histograma do tempo para atendimento de quebra de cabeçote (em min)

Tabela 4.9: Parâmetros da amostra e distribuição estatística para o tempo de quebra de cabeçote

Estatística da amostra	
Distribuição	Log-Normal
Expressão	$10 + \text{LOGN}(20,4, 31)$
Erro	0.001734
No. de pontos	881
Menor valor	10,8
Maior valor	430
Média	29,4
Desvio padrão	25,2

4.5.4.7. Tempo para atendimento de quebras de bobina

As quebras de bobina são o tipo de falha cujo efeito é menos traumático para o processo. Pelo fato de que o seu reparo é mais rápido comparado aos outros tipos de quebras, e o seu efeito restringe-se à apenas 3 bobinas, a contribuição para a diminuição da performance do processo é relativamente menor.

Os dados também estão disponíveis na base de dados e os resultados da amostra são os seguintes.

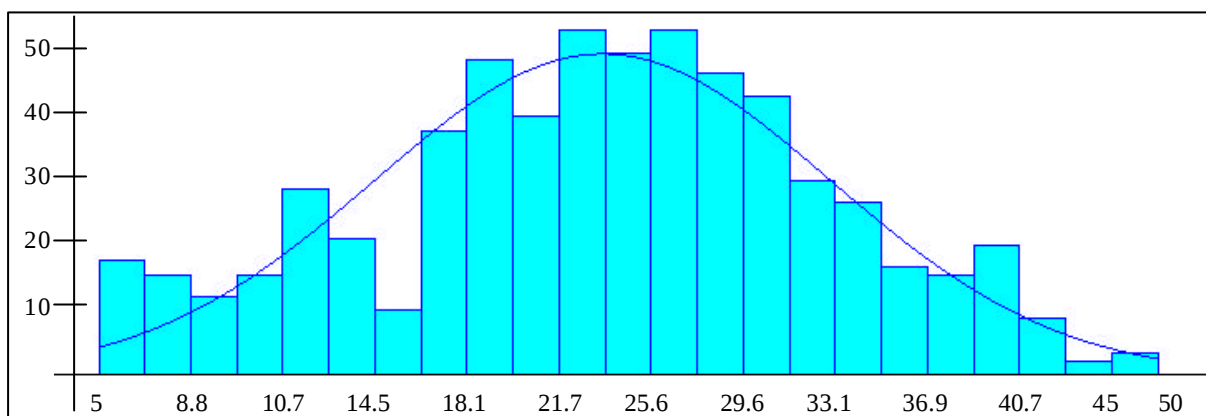


Figura 4.13: Histograma para o tempo para atendimento de quebra de bobina (em mim)

Tabela 4.10: Parâmetros da amostra e distribuição estatística para o tempo de quebra de bobina

Estatística da amostra	
Distribuição	Normal
Expressão	NORM(26.4, 9.69)
Erro	0.002957
No. de pontos	556
Menor valor	5
Maior valor	49,4
Média	26,4
Desvio padrão	9,7

4.5.4.8. Velocidade de enrolamento por produto

A velocidade de enrolamento é a explicação para o fato de que os tempos de enrolamento são diferentes para cada produto. Cada produto possui, devido à quantidade de filamentos e massa de cada um, uma velocidade ou débito com o qual a máquina gera esse fio.

Este débito, uma vez fixado o produto que irá ser produzido, é constante, ou seja, as variações das máquinas são desprezíveis. Temos, para cada produto, o seguinte débito por bobina.

Tabela 4.11 Débito por produto (1 bobina)

Produtos	Débito (g/min)
A	0,023
B	0,035
C	0,042
D	0,042
E	0,042
F	0,042
G	0,042
H	0,042
I	0,042

4.5.4.9. Índice de 1ª Escolha

O índice de primeira escolha representa a porcentagem da produção que possui todas as características desejáveis para o fio têxtil de poliamida, como por exemplo capacidade de absorção de corantes, distribuição de massa constante no filamento e número de filamentos por fio, e caso alguma dessas configurações estejam fora de norma a malha formada pelo fio apresenta faixas com cores diferentes da original, conhecida como barramento.

A qualidade da produção não apresenta um padrão fixo no decorrer dos anos. Projetos de melhoria e variações aleatórias do funcionamento das máquinas afetam este índice tanto para cima quanto para baixo. Portanto, serão utilizados os dados de escolha nos últimos 20 meses para análise, horizonte este que permitirá um bom retrato da performance da fiação POY.

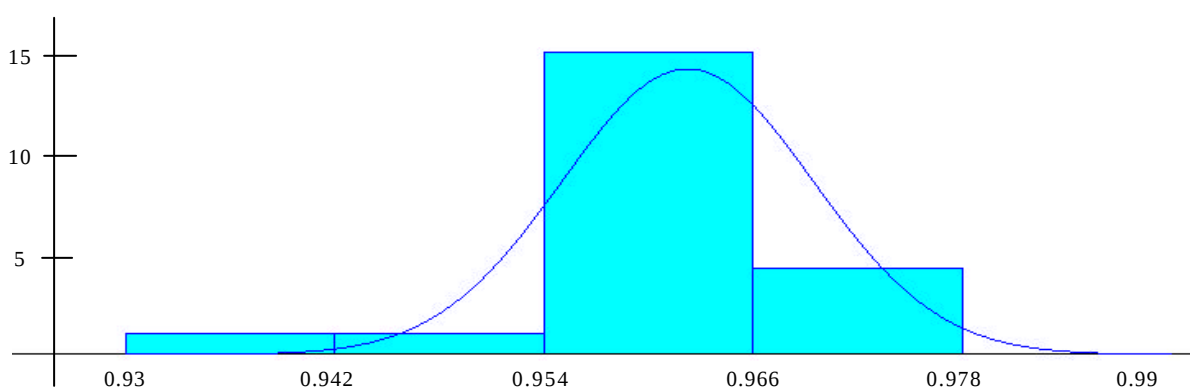


Figura 4.14: Histograma da escolha POY

Tabela 4.12: Parâmetros da amostra e distribuição estatística do índice de 1ª. escolha

Estatística da amostra	
Distribuição	Normal
Expressão	NORM(0.962, 0.00722)
Erro	0.031645
No. de pontos	20
Menor valor	0.941
Maior valor	0.977
Média	0.962
Desvio padrão	0,007

4.5.4.10. Número de funcionários por tarefa

A taxa de ocupação da mão de obra depende das funções que os operadores devem desempenhar. Conforme visto em detalhes no item 4.4.4, as tarefas são basicamente fazer a virada na máquina e atender as quebras. Para cada operação, são necessários:

- Virada: 2 operadores
- Quebra de bobina: 1 operador
- Quebra de cabeçote: 2 operadores
- Quebra de posição: 3 operadores

Assume-se desde já que, para realizar o reparo, é necessário que o número total de operadores esteja disponível para a sua realização, caso contrário o defeito não é atendido e ocorre perda de produtividade através da geração de refugo e conseqüente perda de OEE.

4.5.5. Construção do modelo

Após a definição de todos os parâmetros, coleta e análise dos dados relevantes procedemos com a construção do modelo. Para organizar de forma mais clara as ocorrências e para facilitar o entendimento, está dividido em 4 partes, sendo que duas delas correspondem à lógica de simulação do modelo em si e as restantes fornecem as respostas sobre o funcionamento do modelo, tanto em produção como em ocupação. A divisão seguirá os tópicos abaixo:

- Produção normal
- Produção com quebras
- Painel de controle
- Gráficos de ocupação

É importante ressaltar que os módulos possuem total integração entre si, respeitando o esquema da figura abaixo.

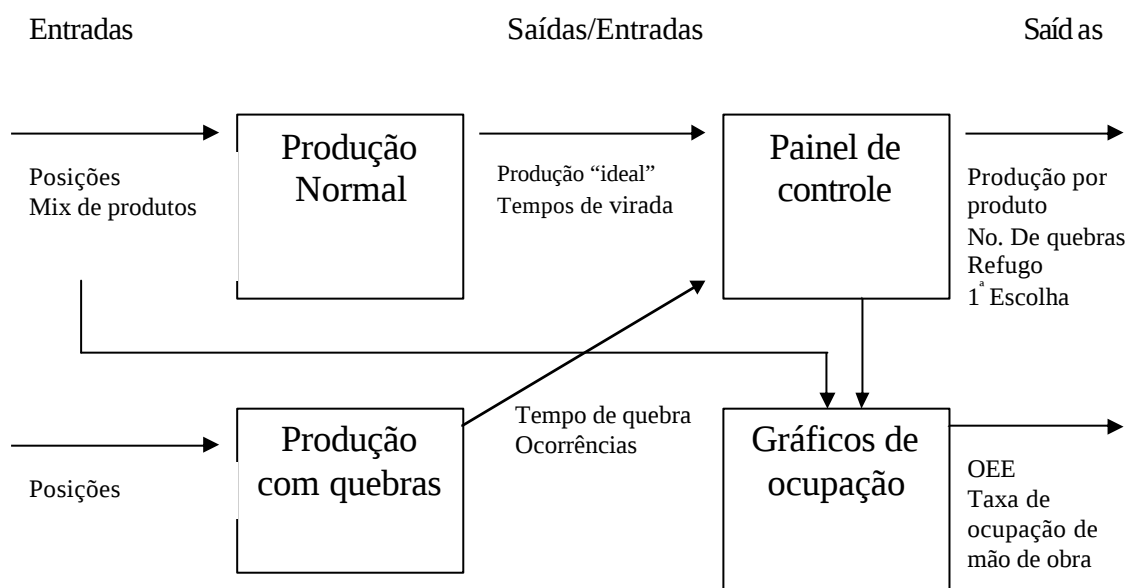


Figura 4.15: Relacionamento entre as partes do modelo

Elaborado pelo autor

4.5.5.1. Produção normal

A primeira parte do modelo sobre a fiação POY possui essa designação pois simulará a produção como se não existissem quebras, ou seja, a partir de um mix de produtos e máquinas teríamos um rendimento de 100%.

Nesta parte, cada entidade do modelo representará uma posição. As posições serão geradas a partir de uma autonomia específica, respeitando o número de posições máximo por

autonomia. De acordo com o produto que esta posição estiver produzindo, haverá o tempo de enrolamento específico, que influenciará no intervalo entre as rodadas de produção.

Tomando como exemplo a autonomia 6A, que possui 6 posições. Considerando um programa que designe que esta autonomia funcionará com as 6 posições ativas durante o mês, temos o seguinte diagrama de blocos:

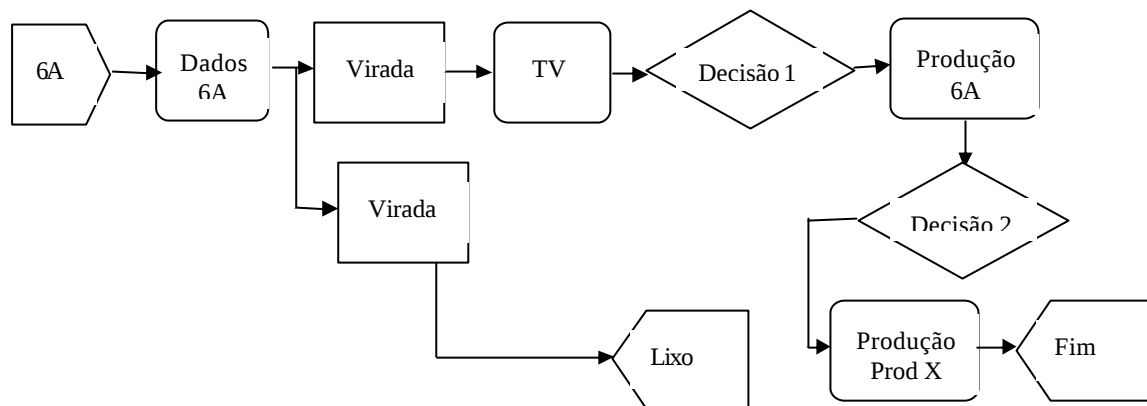


Figura 4.16: Lógica da produção normal

Elaborado pelo autor

No primeiro módulo chamado “6A”, são geradas o número de posições programadas para a autonomia, e o tempo entre as criações é o tempo de enrolamento do produto.

No módulo seguinte, “Dados 6A”, as entidades recebem alguns atributos e variáveis que as acompanharão pelo resto da lógica. Os atributos são o tempo de enrolamento do produto que está sendo produzido na autonomia, e o tempo em que a entidade passa por este bloco de programação. A variável inicializada é a velocidade de enrolamento ou débito por bobina, que também é uma característica do produto produzido.

Seguindo a lógica, existe um processo duplicado, com o nome de “Virada”. Corresponde ao tempo que o operador demora para retirar as bobinas com fio de uma posição e colocar bobinas vazias, começando o enrolamento. Este processo está repetido pois precisa-se simular a ocupação de dois operadores, já que a virada é feita em dupla. Todas as entidades geradas compartilham este processo.

Depois, encontra-se o módulo chamado “TV”. Neste, é feita uma atualização do atributo tempo criado no bloco “Dados 6A”. Este agora guardará o tempo que a entidade (posição) demorou no processo anterior, através da subtração do tempo do momento e o tempo anteriormente registrado.

Na sequência, existe a primeira decisão da lógica, onde o bloco redirecionará as entidades para diferentes blocos de variáveis, que serão responsáveis por contabilizar a produção por máquina.

No caso descrito, as entidades vão para o módulo “Produção 6A”. Este módulo possui uma variável chamada “Prod6A”, que é responsável por somar toda a produção da autonomia. A fórmula para o seu cálculo é a seguinte:

$$Prod6A = Prod6A + Deb6A * 12 * (TE6A + Tempo * 60) \quad (4.1)$$

Onde,

Deb6A = débito (g/min) por bobina do produto na autonomia 6A

TE6A = tempo enrolamento do produto na autonomia 6A

Tempo = atributo que guarda o tempo do processo “Virada 6A”

Multiplica-se por 12 no produto pois uma entidade (posição) forma 12 bobinas.

Por fim, existe outro bloco de decisão que direciona as entidades para os blocos de variáveis responsáveis por contabilizar a produção por produto. A variável que guarda este valor chama-se “ProdX”, onde X representa o produto fabricado. O cálculo é feito de forma similar à formula 4.1.

Portanto, os módulos de criação de entidades, dados e produção por autonomia são replicados para o número de autonomias existentes (13). Já os módulos “Virada”, “TV” e

decisões são percorridos por todas as entidades. Por fim, existem 9 módulos de contabilização da produção por produtos, onde apenas a entidade identificada como um certo produto pode passar. A visualização do diagrama de blocos completo pode ser feita na figura abaixo.

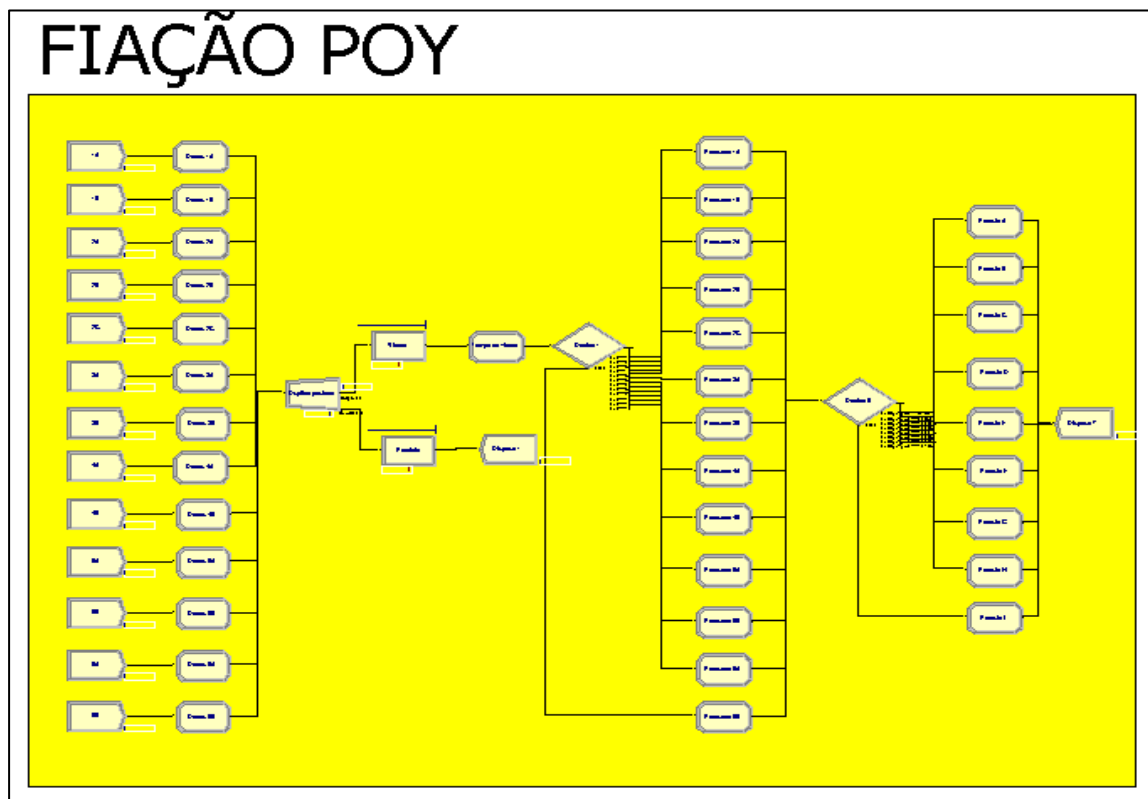


Figura 4.17: Lógica da fiação POY

Elaborado pelo autor

4.5.5.2. Produção com quebras

A lógica da produção com quebras corre paralelamente à da produção normal, porém possui uma forma de funcionamento totalmente diferente. Esta dividida de acordo com os dois grupos de máquinas existentes, sendo que as lógicas são similares a ambos.

Neste ramo do modelo, as entidades representam a ocorrências quebras de forma indistinta, ou seja, não há no momento da geração da quebra a especificação do tipo e nem da autonomia em que aconteceu, sendo estes fatores definidos depois no decorrer do trânsito da

entidade pela lógica, que pode ser conferida na figura a seguir. Tomaremos como base para este exemplo as máquinas do grupo A (1, 4, 5 e 6).

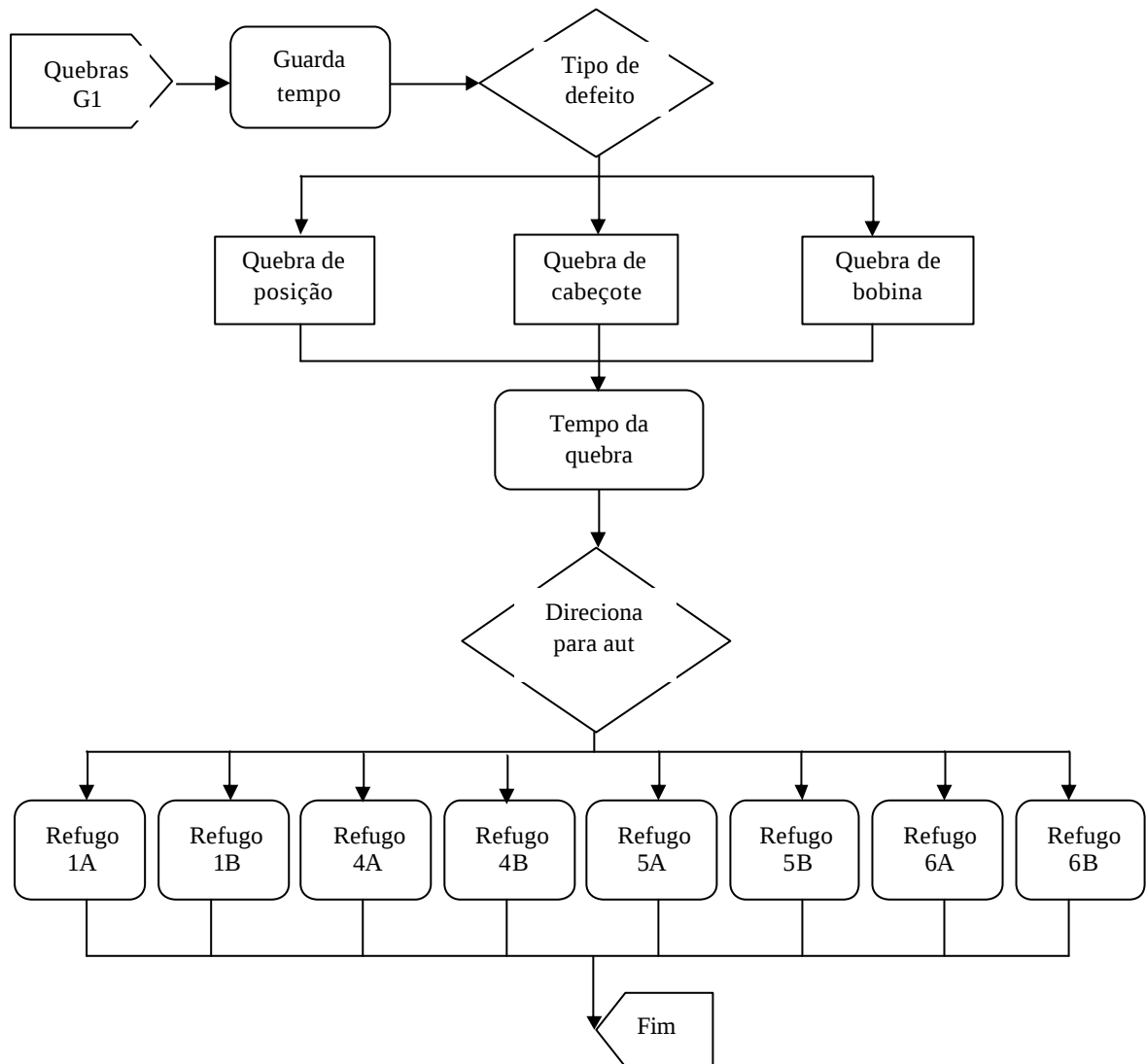


Figura 4.18: Lógica da produção com quebras para o grupo 1

Elaborado pelo autor

O fluxo começa no módulo “quebras G1”, que gera as entidades (quebras). Na sequência, o módulo “guarda tempo” armazena através de um atributo qual o instante de geração da quebra.

Depois, na decisão “Tipo de defeito”, determina-se o tipo de falha. Os caminhos são definidos através de porcentagens, que representam a participação de cada tipo de defeito no total de quebras das máquinas do grupo. No caso específico do grupo 1, utilizaremos 40% para quebras de bobina, 56% para quebras de cabeçote e 4% para quebras de posição.

De acordo com a decisão do tipo de quebra, a entidade é enviada para o processo de atendimento de quebra correspondente, onde os recursos operadores serão alocados para consertar o equipamento e relançar as bobinas afetadas. Em seguida, o módulo “tempo de quebra” gera um atributo para cada entidade sobre o tempo total em que a entidade ficou parada. Além disto através do atributo chamado “tipo”, indica o número 1 (para quebra de bobina), 2 (para quebra de cabeçote) e 4 (para quebra de posição). Este atributo é importante para o cálculo do refugo, pois indica o número de bobinas que refugaram (de acordo com o defeito, que possui a proporção 3:6:12)

Na decisão “Direciona para autonomia”, existe uma proporção entre a quantidade de posições de cada autonomia, sendo que aquelas que possuem um maior número terão uma maior probabilidade de receber o defeito. Depois da escolha, direciona para o bloco de contagem de refugo correspondente. Neste bloco existe uma variável que coleta todos os tempos de quebra e transforma em peso, que é utilizado tanto para o cálculo do refugo como para descontar da produção normal gerada na lógica anterior, da seguinte forma:

$$RefugoN = RefugoN + 3 * Tipo * DebN * Tempo * 60 \quad (4.2.)$$

Onde,

RefugoN = Refugo na autonomia N;

Tipo = referente ao tipo de quebra, onde o produto “3**Tipo*” corresponde ao número de bobinas afetadas;

DebN = débito (g/min) por bobina na autonomia N;

Tempo = tempo de atendimento da quebra;

Vale ressaltar que a lógica da quebra para o grupo 2 é análoga, apenas variando em função do número de autonomies e da frequência de defeitos serem diferentes.

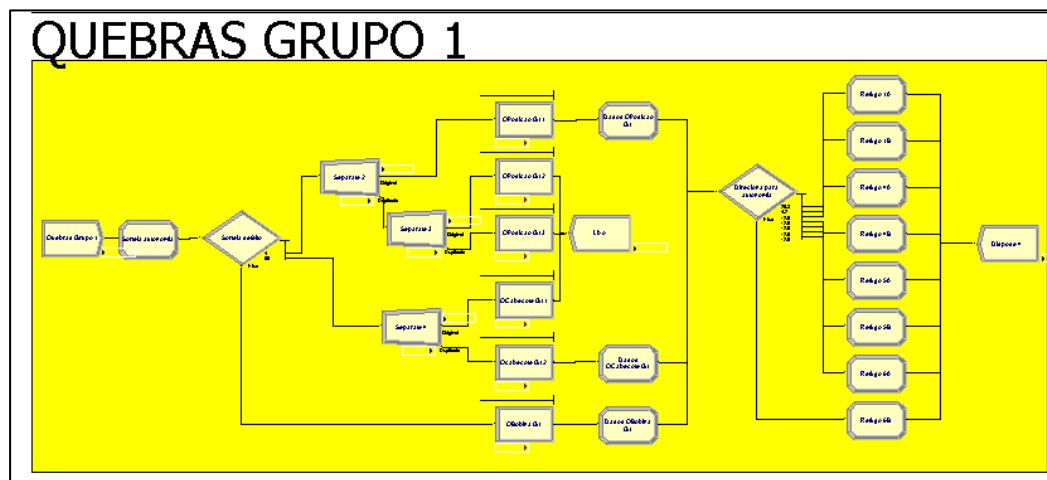


Figura 4.19: Lógica de geração de quebras – grupo 1

4.5.5.3. Painel de controle

O painel de controle tem o objetivo de compilar todos os dados referentes à produção em um só local, facilitando a visualização. As informações que ele proverá são as seguintes: produção por produto, refugo total, número de quebras por tipo e produção de 2ª escolha.

QUEBRAS				
	POSIÇÃO	CABEÇOTE	BOBINA	TOTAL
GRUPO 1	0	0	0	0
GRUPO 2	0	0	0	0
TOTAL GERAL				0

QUALIDADE			
REFUGO NORMAL (Kg)	0		
REFUGO QUEBRAS (Kg)	0		
REFUGO TOTAL (%)	0 . 0		
1A. ESCOLHA (%)	0 . 0		

PRODUÇÃO POR PRODUTO (Kg)			
	1A. ESCOLHA	2A. ESCOLHA	TOTAL
A	0	0	0
B	0	0	0
C	0	0	0
D	0	0	0
E	0	0	0
F	0	0	0
G	0	0	0
H	0	0	0
I	0	0	0
TOTAL 1A. ESCOLHA			0
TOTAL 2A. ESCOLHA			0
TOTAL GERAL			0

Figura 4.20: Painel de controle

Elaborado pelo autor

4.5.5.4. Gráficos de ocupação

Os gráficos de ocupação servirão para avaliarmos a utilização das máquinas e da mão de obra, afim de detectar se algum destes recursos esta sub ou superestimado. Com relação às máquinas, teremos um medidor para cada assim como um medidor geral. Já para a mão de obra, teremos um gráfico que acompanhará sua utilização no decorrer do tempo além da taxa média de ocupação.

Paralelamente aos gráficos, será calculado o índice de OEE, em duas de suas vertentes: global e net (descontadas as paradas por falta de programa).

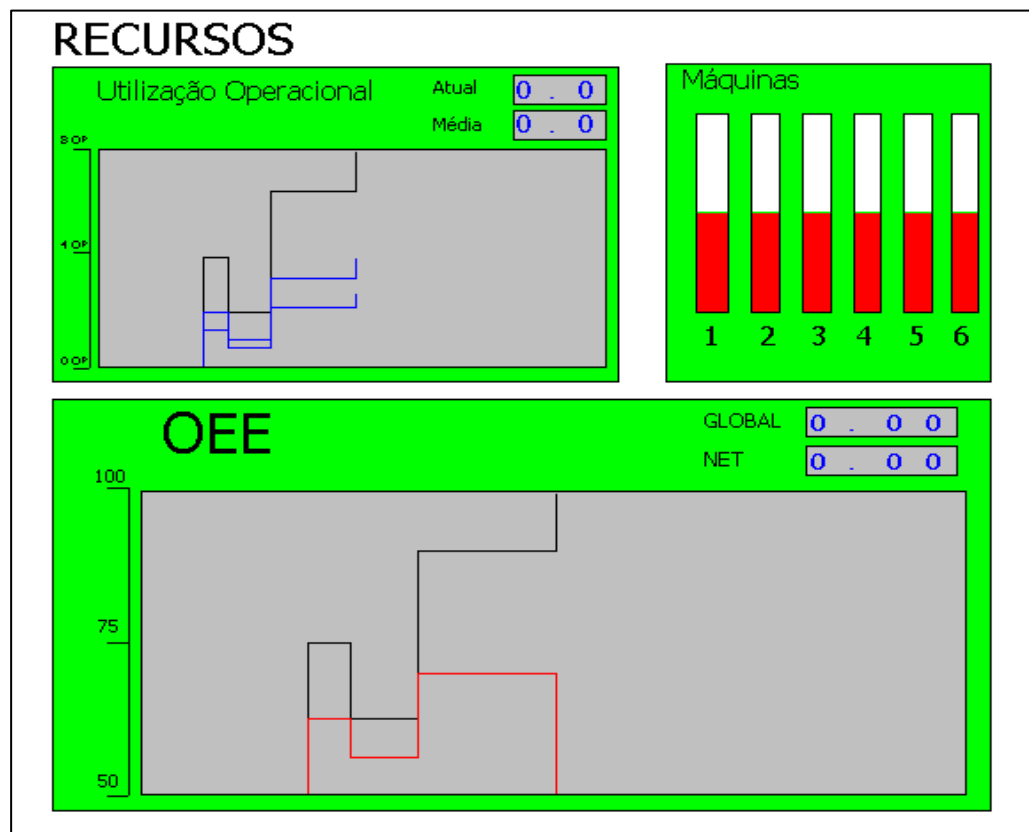


Figura 4.21: Gráficos de ocupação

Elaborado pelo autor

O cálculo da OEE será feito através das estatísticas coletadas pelas variáveis e atributos incorporados ao modelo. A fórmula geral para a OEE Global será a seguinte:

$$OEE_{glob} = \frac{(ProdTot - (RefN + RefQ + ProdP + Prod2a.))}{ProdTot} \quad (4.3)$$

Onde:

ProdTot: produção teórica total;

RefN: refugo normal do processo;

RefQ: refugo decorrente das quebras;

ProdP: produção que deixou de ser produzida em função da falta de posições em funcionamento (sem programa);

Prod2a.: produção de segunda escolha.

O cálculo da OEE Net é similar à equação 4.3, apenas retirando a parcela correspondente à falta de programa de produção:

$$OEE_{net} = \frac{(ProdTot - (RefN + RefQ + Prod2a.))}{ProdTot} \quad (4.4)$$

4.5.5.5. Operação e programação

Para completar a descrição do funcionamento do modelo, ainda é necessário descrever alguns parâmetros que não se encaixam nos temas dos itens anteriores.

Com relação à mão de obra, os 8 operadores foram representados por recursos designados de “OP01” até “OP08”. Como o número de trabalhadores por turno é constante, não foi preciso alterar as capacidades deste recurso dependendo do horário. A única questão a ser considerada é a parada para refeição.

Existem três horários disponíveis em cada turno para os operadores fazerem a parada. Como as trocas de turno são às 06:00, 14:00 e 22:00 horas, temos o seguinte esquema de horários e alocação dos funcionários.

Tabela 4.13: Alocação de operadores e paradas para refeições (em azul)

HORÁRIOS			Horário 1	Horário 2	Horário 3	Operadores
OPERADORES			01, 04, 07	02, 05, 08	03, 06	Disponíveis
00:00	a	01:00				8
01:00	a	02:00				5
02:00	a	03:00				5
03:00	a	04:00				6
04:00	a	05:00				8
05:00	a	06:00				8
06:00	a	07:00				8
07:00	a	08:00				8
08:00	a	09:00				8
09:00	a	10:00				5
10:00	a	11:00				5
11:00	a	12:00				6
12:00	a	13:00				8
13:00	a	14:00				8
14:00	a	15:00				8
15:00	a	16:00				8
16:00	a	17:00				8
17:00	a	18:00				5
18:00	a	19:00				5
19:00	a	20:00				6
20:00	a	21:00				8
21:00	a	22:00				8
22:00	a	23:00				8
23:00	a	00:00				8

Todos os operadores foram agrupados num conjunto que é sempre chamado quando alguma operação tem que ser feita. Este grupo segue um sistema cíclico, ou seja, a ocupação dos operadores segue a seqüência entre 01 e 08. Por exemplo, se no começo da simulação ocorre uma quebra de cabeçote, os operadores “OP01” e “OP02” são chamados para atenderem a falha. Se a próxima operação for a virada de uma máquina, serão chamados os operadores “OP03” e “OP04”, e assim subsequentemente.

A definição dos parâmetros do modelo, em especial a programação do número de posições que rodarão no mês, fica bastante facilitada através dos módulos de cronograma criados

para cada uma das autonomias. O programador de produção define a cada dia quantas posições estarão em funcionamento e estes cronogramas guardam as informações para posterior utilização durante a simulação. O esquema de funcionamento de uma autonomia com 6 posições pode ser visto na figura abaixo.

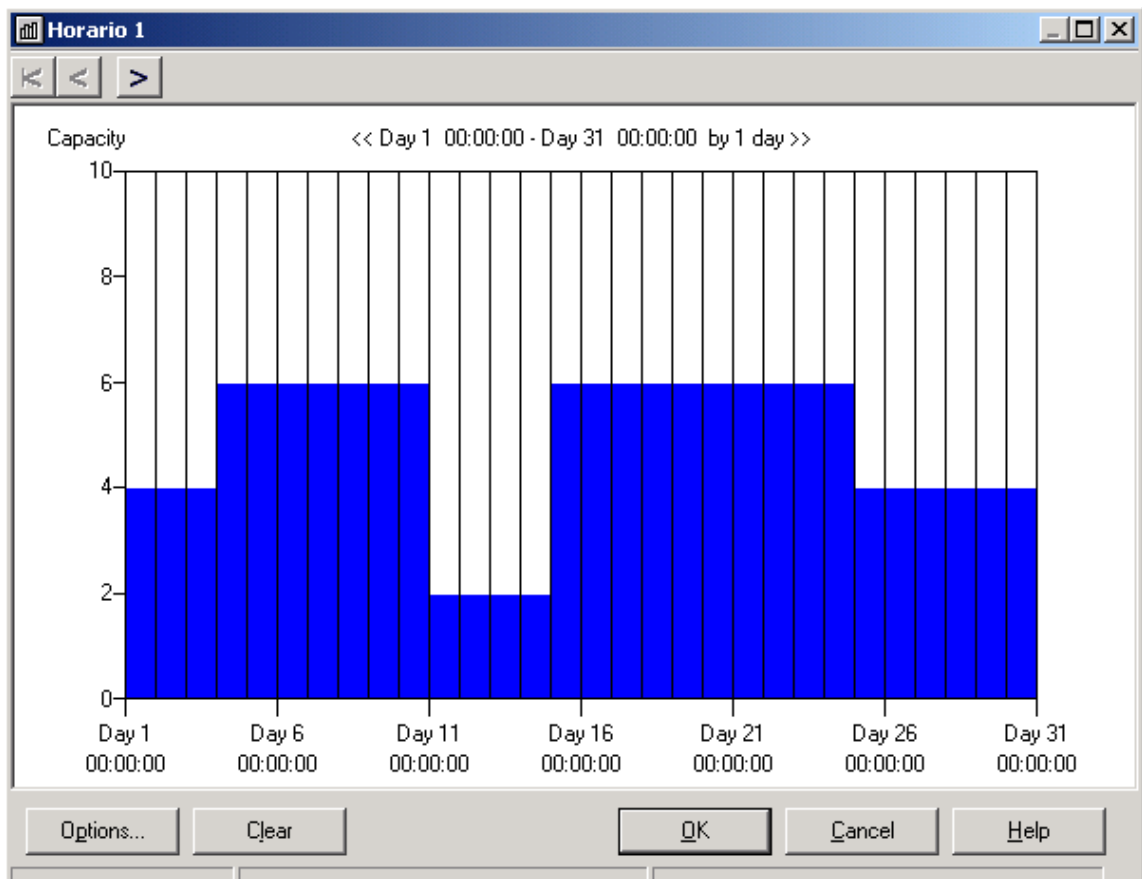


Figura 4.22: Exemplo de cronograma para geração de posições

Elaborado pelo autor

No exemplo da figura acima, a autonomia vai lançar 4 posições no dia 1, que permanecerão até o dia 3. Para o dia 4, haverá o lançamento das duas posições restantes, e todas as 6 posições funcionarão até o dia 10. No dia 11, 4 posições serão desligadas para manutenção preventiva, restando 2 posições em funcionamento até o dia 14. No dia 15, as 4 posições paradas são relançadas e a autonomia funciona por completo até o dia 24, quando mais duas posições são desligadas para manutenção e as 4 restantes trabalham até o fim do mês.

4.5.6. Validação e verificação

Conforme descrito no item 3.1.5, a validação e verificação tem o objetivo de analisar criticamente o modelo e avaliar se o seu funcionamento corresponde ao sistema real, considerando o nível de detalhe atingido na simulação.

Para a validação, foram determinados dois diferentes tipos de análise: apresentar o modelo para pessoas que conhecem o sistema real e comparar os resultados do modelo com estatísticas disponíveis (produção por produto, índice de refugo e OEE).

4.5.6.1. Apresentação do modelo

O modelo final para o processo da fiação POY foi apresentado para o controlador de processo e ao planejador de produção, depois da explicação da lógica e das hipóteses levantadas na programação.

A principal observação realizada reside no fato da necessidade de reprogramação de algumas máquinas durante o mês. O modelo não comportava mudanças de produto numa mesma autonomia, o que certamente causaria problemas nestes casos pois não existia flexibilidade para esta mudança.

Para suprir esta necessidade, foram inseridos alguns módulos de criação de entidades nas autonomies onde esse acontecimento é mais freqüente. Através da programação de chegadas no módulo de criação de entidades, é possível incorporar ao modelo a troca de produto na autonomia.

Outro fator importante trata-se da geração de refugo. O cálculo de refugo no modelo estava baseado unicamente no desperdício através das quebras, enquanto que na realidade existe uma porcentagem do refugo que é natural do processo, ou seja, mesmo sem a ocorrência de quebras é necessário separar uma parcela da produção anteriormente considerada boa para refugo. Este valor, de acordo com o controlador de processos, é de aproximadamente 2% da

produção total. O dado foi inserido no modelo, descontando-se a porcentagem do total da produção por autonomia.

No mais, as simplificações feitas foram aceitas e consideradas válidas para a simulação do sistema real através do modelo.

4.5.6.2. Comparação de resultados

Após a correção dos fatores apontados no item acima, buscou-se uma comparação quantitativa para avaliar o comportamento do modelo. Desta forma, baseado no programa de produção dos últimos três meses antes do término do modelo, simulamos e buscamos comparar as respostas com dados ou indicadores existentes na EMPRESA, que são os seguintes:

- **Produção por produto:** pelo fato de não haver pesagem logo após o processo de fiação POY, tomamos como base o total da produção que entrou no armazém, fizemos os cálculos dos índices de refugo e escolha dos processos posteriores e agrupamos os artigos a cada um dos produtos base da fiação POY, já que cada produto de fiação pode gerar muitos outros dependendo do caminho seguido no fluxo produtivo;
- **OEE:** o cálculo da OEE é feito para a fiação POY. No modelo, o cálculo de OEE é feito de forma simplificada, pois os únicos fatores que influem no índice são a quantidade de refugo (tanto normal quanto gerado por quebras) e a falta de programa;
- **Refugo:** este índice é acompanhado pela fábrica e o poderá ser comparado com os dados do modelo;

Considerando o período de finalização do modelo como N, temos para os meses N-3, N-2 e N-1 os seguintes resultados (os dados de entrada podem ser consultados no apêndice 2):

Tabela 4.14: Comparação dos resultados – em ton

Mês	N-3			N-2			N-1		
Produtos	Real	Modelo	Desvio	Real	Modelo	Desvio	Real	Modelo	Desvio
A	54,7	63,2	16%	22,5	26,6	18%	45,9	52,6	15%
B	92,9	103,5	11%	96,2	106,4	11%	39,8	44	11%
C	402,3	402,6	0%	326,7	329,9	1%	220,0	220,1	0%
D	139,1	137,4	1%	132,0	130	2%	190,3	189,8	0%
E	0,0	0	0%	28,8	29,1	1%	33,1	34,1	3%
F	58,0	67,9	17%	7,9	9,3	18%	7,5	9,3	24%
G	524,1	527,6	1%	522,0	516,5	1%	625,0	610,8	2%
H	14,5	14,2	2%	0,0	0	0%	0,0	0	0%
I	0,0	0	0%	0,0	0	0%	6,7	5,9	12%
OEE NET (%)	92,0	93,04	1%	93,3	93,43	0%	89,0	93,19	5%
OEE GLOBAL (%)	82,5	86,05	4%	72,6	68,82	5%	81,0	76,85	5%
REFUGO (%)	3,1	3,16	2%	3,0	2,96	2%	3,2	3,01	4%

Pela tabela, é possível detectar alguns desvios entre os dados do modelo e a situação real do sistema. Estes podem ser explicados pelas hipóteses levantadas para a resolução do problema, como por exemplo as quebras de um mesmo grupo são distribuídas aleatoriamente dentre as máquinas, sem distinção, quando na realidade ocorrem pequenas variações.

Outro fator que chamou bastante a atenção foram os desvios apresentados pelos produtos A, B e F. Se analisarmos os períodos considerados, vemos que os erros encontrados são bastante superiores à média geral do modelo, e sempre acima do valor real. Isto nos faz crer que o produto também influência no patamar de quebras e produtividade geral, e não apenas as diferenças entre as máquinas. Para uma perfeita sintonia entre os resultados reais e a previsão do modelo, seria interessante pesquisar se realmente existe diferença de produtividade entre os produtos, ou se as restrições sobre a produção dos artigos nas máquinas estão corretas.

Os outros índices também apresentam pequenas diferenças, mas de acordo com o planejador de produção e o controlador de processo estão dentro de um patamar aceitável de erro.

4.5.7. Simulação

A etapa de simulação se aplica com mais ênfase nos projetos que visam a melhoria de um sistema ou processo. Nestes casos, realizam-se várias iterações no modelo, mudando os dados de

entrada para verificar qual configuração traz o melhor resultado para o funcionamento do sistema.

Como o projeto de simulação computacional da fiação POY não se destina a este fim, já que tem como objetivo mostrar a situação do sistema real, a etapa de simulação não tem a mesma importância. Porém, para embasar a discussão do item seguinte, a análise de resultados, faremos uma simulação do modelo para os dados do mês N, e avaliaremos as respostas não só específicas para a configuração do mês como para o modelo em geral (dados de entrada no apêndice 2).

Tabela 4.15: Simulação da produção no mês N

Produção por produto (t)			
Produtos	1a. Escolha	2a. Escolha	Total
A	63,4	2,4	65,8
B	71,8	3,8	75,6
C	265,7	11,4	277,1
D	151,9	7,3	159,2
E	42,4	2,1	44,5
F	65,3	3,3	68,6
G	639,1	18,1	657,2
H	0	0	0
I	0	0	0
Produção Total	1299,6	48,4	1348
Quebras			
	Posição	Cabecote	Bobina
Grupo 1	44	525	374
Grupo 2	41	362	183
Total	85	887	557
Total Geral	1529		
Nº médio de quebras na fila: 11,2			
Qualidade (t)			
Refugo Normal	28,2		
Refugo Quebras	19,5		
Refugo total (%)	3,38		
1a. Escolha (%)	95		
BC (unid)	97218		
BI (unid)	16026		
% BI no total	14,15		
Ocupação (%)			
OEE Global	89,6		
OEE NET	92,85		
Mão de obra	70,7		

4.5.8. Análise dos resultados

Na última fase do projeto de simulação computacional, a análise de resultados, faremos uma discussão dos resultados do modelo e possíveis pontos de atenção para as operações da fiação POY.

Primeiramente com relação à mão-de-obra, vemos que o índice médio de ocupação está em torno de 70,7 %, o que a princípio indica que este recurso está superestimado. Porém, se observarmos que em diversas ocasiões durante o mês todos os operadores disponíveis foram utilizados, e que o número médio de quebras a serem atendidas é de 11,2, não podemos considerar simplesmente que existe mão-de-obra disponível. Vale lembrar que uma diminuição do número de operadores acarreta no aumento da geração de refugo e conseqüente perda de OEE e produtividade.

Para tanto, seguindo os dados de entrada para o mês N, foi realizada a simulação para 6, 7, 8, 9 e 10 operadores num período de 30 dias, e os resultados podem ser conferidos na tabela abaixo.

Tabela 4.16: Quadro resumo para diferentes números de funcionários

	Número de operadores				
	10 op	9 op	8 op	7 op	6 op
Ocupação média (%)	54,6	59,2	70,7	78,1	92,5
Refugo (%)	2,98	3,01	3,38	3,62	5,87
Média quebras na fila	2,4	2,9	11,2	20,9	81,8
OEE Global (%)	89,95	89,87	89,6	89,21	87,05

Percebe-se que para um patamar de até 7 funcionários as operações mantêm-se razoavelmente sob controle, apesar do número médio de quebras a serem atendidas começar a ficar fora de controle. Com 6 funcionários a situação da fiação POY fica caótica, com grande perda de produtividade baseada na geração indiscriminada de refugo por não atendimento de quebras, o que também causa impacto negativo na OEE global.

Com relação aos dados sobre as quebras, um fator chama bastante atenção: devido ao fato de que as viradas são programadas, quando ocorre uma quebra todas as bobinas são retiradas da máquina com um tamanho menor do que o normal. Estas bobinas são conhecidas como bobinas incompletas (BI). Além de retirá-las, o operador coloca bobinas vazias em seu lugar, de forma a continuar o enrolamento. Porém, quando chega o tempo da virada, todas as bobinas são retiradas da máquina, inclusive aquelas correspondentes ao local da quebra. Estas também não possuem o tamanho normal, sendo classificadas como BI. Portanto, verifica-se que cada quebra gera um número de BI's duas vezes maior do que o seu próprio efeito, e essa propagação de bobinas de diferentes tamanhos prejudica os processos que derivam da fiação POY.

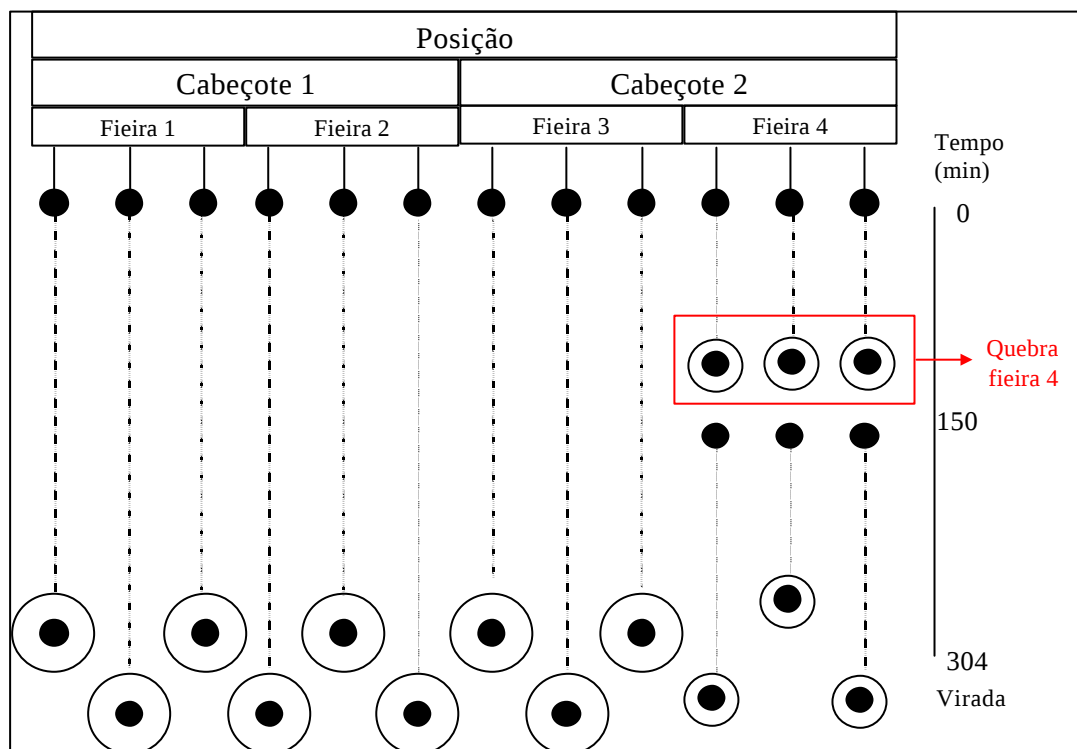


Figura 4.23: Efeito das quebras sobre o tamanho das bobinas. Resultado da virada: 9 BC's e 6 BI's

Elaborado pelo autor

Para o mês N, temos a seguinte proporção entre bobinas cheias (BC) e BI's.

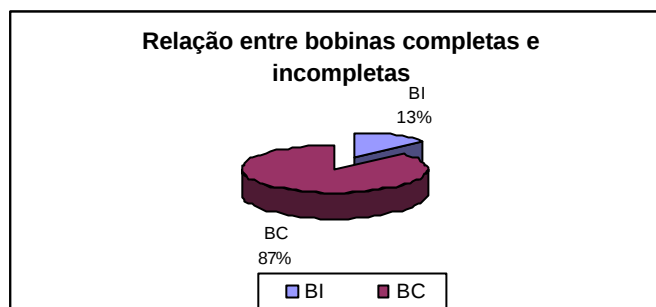


Figura 4.24: Porcentagem de BC's e BI's no total produzido

Elaborado pelo autor

Para a produção por produtos, percebe-se que a forma como planejamento de produção funcionava era equivocada. Para as saídas da fiação POY, considerava que 95% da produção total se constituía em 1ª escolha. Os 5% restantes contemplavam o refugo e a 2ª escolha. Se compararmos o resultado obtido no modelo para a 1ª escolha, temos uma porcentagem diferente da planejada.

Tabela 4.17: Porcentagem da produção ideal de primeira escolha

Total Ideal (A)	1395,7
Refugo Normal (B)	28,2
Refugo Quebra (C)	19,5
2a. Escolha (D)	48,4
% produção 1a. Escolha (A-(B+C+D))/A	93,11%

Este fator em grande parte explica porque o índice de conformidade na entrega de produtos nos clientes, representado pelo indicador OTIF (On Time In Full) não é satisfatório, já que a quantidade de produção de 1ª escolha fabricada é na verdade menor do que o planejado.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

5. CONCLUSÃO

Através da criação do modelo de simulação computacional da fiação POY, para servir como ferramenta de apoio a decisões do PCP da EMPRESA, foi possível obter uma visibilidade grande das operações, sendo que na maioria dos casos as informações não existiam para os tomadores de decisão, o que certamente gerava muitos erros na questão do planejamento adequado do funcionamento das máquinas e, mais adiante, no atendimento das entregas para os clientes.

Como todo modelo, este é apenas uma representação simplificada da realidade. Desta forma, não se ousa sugerir-lo como única fonte de dados para o sistema real. Como exemplo é possível citar o caso das quebras, onde a simplificação feita é satisfatória em termos de planejamento, mas para o controlador de processo é extremamente importante todos os tipos de quebras separadamente.

O modelo final foi apresentado aos principais interessados, dentre eles a gerência industrial, de supply chain, além do planejador de produção e do controlador de processos. Todos consideraram como válidos os resultados apresentados, pois verificaram certa correlação com o que estava acostumados a acompanhar diariamente. Porém, a gerência de supply chain pretende testar o modelo com mais cuidado para confirmar sua validade e como poderia ser adaptado para possibilitar o planejamento da produção através deste meio. Durante um período de 6 meses, o modelo será pilotado paralelamente à forma atual de planejamento, e o autor terá a responsabilidade de passar as informações importantes sobre o funcionamento do programa ao planejador de produção, para que, se neste período o modelo se mostrar válido, seja adotado no lugar das planilhas.

A questão sobre a utilização da mão de obra, que consistiu na principal inovação que o modelo trouxe pois dados precisos não existiam, será usada para avaliar a contratação ou desligamento de novos funcionários e verificar o impacto destas adições na operação.

Foi também ressaltado o problema dos níveis de estoque intermediários, que apresentam grande oscilação no decorrer do mês, em grande parte causada pela variabilidade do processo anterior, a fiação. Espera-se que o modelo ajude na gestão desse estoque, pois as informações sobre a saída dos produtos são mais acuradas que o modelo tradicional e podem gerar também uma melhoria indireta no indicador de OTIF.

5.1. Desenvolvimentos futuros

O comprometimento das pessoas envolvidas direta ou indiretamente com o projeto em investir no seu futuro desenvolvimento é importante pois mostra o interesse em atingir uma operação mais conforme e otimizada, que atenda as necessidades do cliente e do acionista.

Como possíveis ramificações do estudo do modelo, espera-se expandir seu uso para os outros setores de fiação da EMPRESA. Desta forma, seria possível avaliar a saída de todos os produtos, e não apenas da linha principal, e o mesmo se pode dizer da utilização das máquinas e da mão-de-obra.

Outra idéia que surgiu baseada na análise dos resultados do modelo foi a realização de viradas aleatórias na fiação POY, e ao contrário da operação atual em que as viradas são programadas. Esta mudança acarretaria em um menor número de BI's para os processos posteriores à fiação, garantindo melhores margens de OEE. Porém, o aspecto que deve ser levado em consideração é a utilização da mão-de-obra, pois a flutuação na incidência de quebras vai gerar um maior número de viradas acontecendo ao mesmo tempo, o que elevaria de forma considerável o refugo pois não haveria operadores suficientes para atender a todas as ocorrências.

Através de algumas adaptações no modelo atual será possível simular as situações descritas acima e decidir pela mudança da operação ou não.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFIA

6. BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA, M.C., et. Al, *Setor de Fibras e Suprimento de Intermediários Petroquímicos – Complexo Têxtil*, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, nº 20, Set. 2004;
- BOTTER, R.C., *Introdução às Técnicas de Simulação e ao Programa Arena*, PECE, Agosto 2001;
- CORPORATION, S. M., *Introdução à Simulação com Arena*
- _____, *Arena User's Guide*, Sewicley, Paragon, 2002
- CORREA, S.C., *A Simulação em Monografias de Graduação de Engenharia de Produção*, XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba-PR, Outubro 2002;
- LAW, A. M.; KELTON, W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, 3rd. Ed. Boston: Mcgraw-Hill, 2000;
- PEDGEN, C. D.; SHANNON R.E.; SADOWSKI, R.P., *Introduction to Simulation Using SIMAN*, New York, McGraw-Hill, 1991.
- PRADO, D.S. do, *Usando o Arena em Simulação*, Série Pesquisa Operacional, v.3, Ed. Do Desenvolvimento Gerencial, BH-MG, 1999;
- SHAMBLIN, J.E.; STEVENS, G.T., *Pesquisa Operacional: Uma Abordagem Básica*, v.8, Ed. Atlas, São Paulo-SP, 1979;
- SHANNON, R.E., *Systems Simulation: The Art and Science*, Prentice Hall, 1975

Website (ABRAFAS)

- www.abrafas.com.br

APÊNDICES

APÊNDICE A – OVERAL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

A sigla OEE, em português “Eficiência geral da máquina”, trata-se de uma ferramenta muito importante que auxilia na obtenção de dados relativos às capacidades de produção de um sistema e seus respectivos níveis de eficiência e rendimentos.

O conceito da utilização desta ferramenta baseia-se na identificação e controle de tudo aquilo que influencia o sistema produtivo, causando neste perdas de velocidade, geração de refugo e paradas improdutivas.

O objetivo da OEE nas grandes corporações é prover informações sobre quais perdas estão impactando a performance do processo de forma mais incisiva, possibilitando assim a geração de planos de ações e medidas corretivas que permitam uma melhor utilização dos recursos produtivos existentes.

O estudo da capacidade, eficiência e rendimento de um setor produtivo é feito da seguinte forma:

CAPACIDADE TOTAL = TOTAL TIME		
CAPACIDADE DE OPERAÇÃO		T1 + T2 + T3
CAPACIDADE PRODUTIVA	T4 + T5	
CAPACIDADE ÚTIL	T6	

Figura A.1: Representação gráfica do cálculo da OEE

Elaborado pelo autor

A **capacidade total** (CT), ou total time, representa a situação ideal, onde os equipamentos estivessem num regime de funcionamento onde não há paradas nem perdas, ou seja, 24 horas por dia sem nenhum tipo de empecilho que cause paradas nos equipamentos ou produção sem qualidade. Também é conhecida como capacidade instalada do setor.

A **capacidade de operação** (CO) refere-se ao tempo disponível para a produção, desconsiderando os tempos de parada por setup, manutenção preventiva e paradas programadas, representados da seguinte forma:

T1: *Horas perdidas por paradas programadas*: todo o tipo de parada relacionada a limpeza de máquina e manutenção preventiva

T2: *Horas perdidas – sem programa*: paradas relacionadas à falta de programa de produção, pedidos e vendas.

T3: *Horas perdidas por setup*: trocas de configurações da produção, mudança de produtos, etc;

A **capacidade produtiva** é o tempo disponível para a produção, desconsiderando os tempos de parada por acidentes, falta de manutenção e outros, descritos da seguinte forma:

T4: *Horas perdidas por acidentes de manutenção*

T5: *Horas perdidas por acidentes de processo*

A **capacidade útil** (CU) é o tempo de produção restante das 5 perdas descritas acima, somados ao tempo perdido na produção de produtos de qualidade inferior, descrito da seguinte forma:

T6: *Horas perdidas por refugo*: transforma-se a quantidade de refugo em horas de máquina trabalhada.

Desta forma, temos que a capacidade útil respeita a seguinte relação:

$$CU = CT - (T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6) \quad (A.1)$$

Por definição o cálculo da OEE é definido pela seguinte expressão:

$$OEE = \frac{CU}{CT} * 100 = \frac{(CT - (T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6))}{CT} * 100 \quad (A.2)$$

A partir destas definições, existem outros diversos índices que podem ser calculados, onde se destacam a OEE Net, que trata-se da OEE normal sem considerar as paradas por falta de programa, a OEE Qualidade, onde se desconta apenas as paradas por problemas de qualidade de produto, entre outras.

APÊNDICE B – PROGRAMAS DE PRODUÇÃO

Tabela B.1: Programa de produção para o mês N-3

Mês N-3														
Máquina	1			2			3		4		5		6	
Autonomia	A	A	B	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
Produto	D	C	H	A	F	NR	C	C	C	G	G	G	B	G
Dias	Posições Programadas por dia													
1	10		2	1	3			5	6	6	6	6		6
2	10		2	1	3			5	6	6	6	6		6
3	10		2	2	3		5	5	6	6	6	6	6	6
4	10		2	3	3		5	5	6	6	6	6	6	6
5	10		2	4	3		5	5	6	6	6	6	6	6
6	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
7	10		2	6	3		5	5		6	6	6	6	6
8	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
9	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
10	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
11	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
12	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
13	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
14	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
15	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
16	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
17	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
18	10			6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
19		10		6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
20		10		6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
21		10		6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
22		10		6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
23		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
24		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
25		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
26		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
27		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
28		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
29		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6
30		10		6	3			5	6	6	6	6	6	6

Tabela B.2: Programa de produção para o mês N-2

Mês N-2														
Máquina	1			2			3		4		5		6	
Autonomia	A	A	B	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
Produto	D	C	E	A	F	NR	C	NR	C	G	G	G	B	G
Dias	Posições Programadas por dia													
1	10			6	3		5		6	6	6	6	6	6
2	10		2	5	3		5		6	6	6	6	6	6
3	10		2	6	3		5		6	6	6	6	6	6
4	10		2	6	3		5		6	6	6	6	6	6
5	10		2	6	3		5		6	6	6	6	6	6
6	10		2	6	3		5		6	6	6	6	6	6
7	10		2	5	3		5		6	6	6	6	6	6
8			2	5	3		5		6	6	6	6	6	6
9	10		2	5	3		5		6	6	6	6	6	6
10	10		2	2			5		6	6		6		6
11	10		2	2			5		6	6	6	6	6	6
12	10		2	2			5		6	6	6	6	6	6
13	10		2	2			5		6	6	6	6	6	6
14	10		2	1			5		6	6	6	6	6	6
15	10		2	1			5		6	6	6	6	6	6
16	10		2	1			5		6	6	6	6	6	6
17	10		2	1			5		6	6	6	6	6	6
18	10		2	1			5		6	6	6	6	6	6
19		10	2	1			5		6	6	6	6	6	6
20		10	2	1			5		6	6	6	6	6	6
21		10	2	1			5		6	6	6	6	6	6
22		10					5		6	6	6	6	6	6
23		10							6	6	6	6	6	6
24		10					5		6	6	6	6	6	6
25		10					5		6	6	6	6	6	6
26		10					5		6	6	6	6	6	6
27		10					5		6	6	6	6	6	6
28		10					5		6	6	6	6	6	6
29		10					5		6	6	6	6	6	6
30		10					5		6		6	6	6	6

Tabela B.3: Programa de produção para o mês N-1

Mês N-1														
Máquina	1			2			3		4		5		6	
Autonomia	A	A	B	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
Produto	D	C	E	A	F	I	C	C	G	G	G	G	B	G
Dias	Posições Programadas por dia													
1	10						5	5	6	6	6	6	6	6
2	10					1	5	5	6	6	6	6	6	6
3	10					1	5	5	6	6	6	6	6	6
4	10					1	5	5	6	6	6	6	6	6
5	10					1	5	5	6	6	6	6	6	6
6	10			3		1	5	5	6	6	6	6	6	6
7	10		2	5		1	5	5	6	6	6	6	6	6
8	10		2	6		1	5	5	6	6	6	6	6	6
9	10		2	6		1	5	5	6	6	6	6	6	6
10	10		2	4			5	5	6	6	6	6	6	6
11	10		2	4			5	5	6	6	6	6	6	6
12	10		2	5			5	5	6	6	6	6	6	6
13	10		2	4				5	6	6	6	6		6
14	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
15	10		2	4			5	5	6	6	6	6		6
16	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
17	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
18	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
19	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
20	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
21	10		2	6			5	5	6	6	6	6		6
22	10		2	6			5	5		6	6	6		6
23	10		2	6			5	5		6	6	6		6
24	10		2	6			5	5		6	6	6		6
25	10		2	6			5	5		6	6	6		6
26				5						6	6			
27		4	2	6	3		5	5		6	6			6
28		4	2	5	3		5	5		6	6	6		6
29		4	2	6	3		5	5		6	6	6		6
30		4	2	6	3		5	5		6	6	6		6

Tabela B.4: Programa de produção para o mês N

Mês N														
Máquina	1			2			3		4		5		6	
Autonomia	A	A	B	A	B	C	A	B	A	B	A	B	A	B
Produto	D	C	E	A	F	NR	C	C	G	G	G	G	B	G
Dias	Posições Programadas por dia													
1	10		2	6	3		5	5	6	6	6			6
2	10		2	5	3		5	5	6	6	6	6		6
3	10		2	5	3		5	5	6	6	6	6		6
4	10		2	4	3		5	5	6	6	6	6		6
5	10		2	4	3		5	5	6	6	6	6		6
6	10		2	4	3		5	5	6	6	6	6		6
7	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6		6
8	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6		6
9	10		2	5	3		5	5	6	6	6	6		6
10	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6		6
11	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
12	10		2	4	3		5	5	6	6	6	6	6	6
13	10		2	5	3		5	5	6	6	6	6	6	6
14	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
15	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
16	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
17	10		2	5	3		5	5	6	6	6	6	6	6
18	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
19	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
20	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
21	10		2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	
22		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
23		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
24		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
25		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
26		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
27		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
28		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
29		10	2	6	3		5	5	6	6	6	6	6	6
30		10	2	5	3		5	5	6	6	6	6	6	6

APÊNDICE C – LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

```

;
;
; Model statements for module: Create 1
;

90$      CREATE,
SchedValue(P1A1),MinutesToBaseTime(0.0),100f34:MinutesToBaseTime(297):NEXT(91$);

91$      ASSIGN:    1A1.NumberOut=1A1.NumberOut + 1:NEXT(0$);

;
;
; Model statements for module: Assign 1
;
0$      ASSIGN:    aut=1:
                tempo=tnow:
                Deb1A=0.042:
                te1A=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Separate 1
;
1$      DUPLICATE,  100 - 50:
                1,96$,50:NEXT(95$);

95$      ASSIGN:    Duplica posicao.NumberOut Orig=Duplica posicao.NumberOut Orig + 1:NEXT(14$);

96$      ASSIGN:    Duplica posicao.NumberOut Dup=Duplica posicao.NumberOut Dup + 1:NEXT(15$);

;
;
; Model statements for module: Process 2
;
14$      ASSIGN:    Virada.NumberIn=Virada.NumberIn + 1:
                Virada.WIP=Virada.WIP+1;
100$     QUEUE,     Virada.Queue;
99$      SEIZE,     1,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(98$);

98$      DELAY:     MinutesToBaseTime(Normal(6.98,.19)),,VA;
97$      RELEASE:   SELECT(Operadores,LAST),1;
145$     ASSIGN:    Virada.NumberOut=Virada.NumberOut + 1:
                Virada.WIP=Virada.WIP-1:NEXT(17$);

;
;

```

```

; Model statements for module: Assign 14
;
17$    ASSIGN:    tempo=tnow-tempo:NEXT(18$);

;
;
; Model statements for module: Decide 1
;
18$    BRANCH,    1:
        If,aut==1,19$,Yes:
        If,aut==2,67$,Yes:
        If,aut==3,68$,Yes:
        If,aut==4,69$,Yes:
        If,aut==5,70$,Yes:
        If,aut==6,71$,Yes:
        If,aut==7,72$,Yes:
        If,aut==8,73$,Yes:
        If,aut==9,74$,Yes:
        If,aut==10,75$,Yes:
        If,aut==11,76$,Yes:
        If,aut==12,77$,Yes:
        Else,78$,Yes;

;
;
; Model statements for module: Assign 59
;
78$    ASSIGN:    Prod6B=Prod6B+Deb6B*12*(te6B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Decide 6
;
79$    BRANCH,    1:
        If,Entity.Type==54f34,80$,Yes:
        If,Entity.Type==70f60,81$,Yes:
        If,Entity.Type==100f23,82$,Yes:
        If,Entity.Type==100f34,83$,Yes:
        If,Entity.Type==100f48,84$,Yes:
        If,Entity.Type==100f52,85$,Yes:
        If,Entity.Type==101f68,86$,Yes:
        If,Entity.Type==Bio,87$,Yes:
        Else,88$,Yes;

;
;
; Model statements for module: Assign 69
;
88$    ASSIGN:    ProdI=ProdI+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
; Model statements for module: Dispose 7

```

```

;
89$    ASSIGN:    Dispose 7.NumberOut=Dispose 7.NumberOut + 1;
152$   DISPOSE:   Yes;

;
;
;   Model statements for module: Assign 61
;
80$    ASSIGN:    ProdA=ProdA+0.023*12*(534+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 62
;
81$    ASSIGN:    ProdB=ProdB+0.035*12*(353+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 63
;
82$    ASSIGN:    ProdB=ProdB+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 64
;
83$    ASSIGN:    ProdD=ProdD+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 65
;
84$    ASSIGN:    ProdB=ProdB+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 66
;
85$    ASSIGN:    ProdB=ProdB+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 67
;
86$    ASSIGN:    ProdB=ProdB+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;

```

```

; Model statements for module: Assign 68
;
87$    ASSIGN:    ProdH=ProdH+0.042*12*(297+tempo*60):NEXT(89$);

;
;
; Model statements for module: Assign 15
;
19$    ASSIGN:    Prod1A=Prod1A+Deb1A*12*(te1A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 48
;
67$    ASSIGN:    Prod1B=Prod1B+Deb1B*12*(te1B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 49
;
68$    ASSIGN:    Prod2A=Prod2A+Deb2A*12*(te2A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 50
;
69$    ASSIGN:    Prod2B=Prod2B+Deb2B*12*(te2B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 51
;
70$    ASSIGN:    Prod2C=Prod2C+Deb2C*12*(te2C+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 52
;
71$    ASSIGN:    Prod3A=Prod3A+Deb3A*12*(te3A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 53
;
72$    ASSIGN:    Prod3B=Prod3B+Deb3B*12*(te3B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;

```

```

; Model statements for module: Assign 54
;
73$    ASSIGN:    Prod4A=Prod4A+Deb4A*12*(te4A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 55
;
74$    ASSIGN:    Prod4B=Prod4B+Deb4B*12*(te4B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 56
;
75$    ASSIGN:    Prod5A=Prod5A+Deb5A*12*(te5A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 57
;
76$    ASSIGN:    Prod5B=Prod5B+Deb5B*12*(te5B+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Assign 58
;
77$    ASSIGN:    Prod6A=Prod6A+Deb6A*12*(te6A+tempo*60):NEXT(79$);

;
;
; Model statements for module: Process 3
;
15$    ASSIGN:    Paralelo.NumberIn=Paralelo.NumberIn + 1;
                Paralelo.WIP=Paralelo.WIP+1;
156$    QUEUE,    Paralelo.Queue;
155$    SEIZE,    1,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(154$);

154$    DELAY:    MinutesToBaseTime(Normal(6.98,.19)),,VA;
153$    RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
201$    ASSIGN:    Paralelo.NumberOut=Paralelo.NumberOut + 1;
                Paralelo.WIP=Paralelo.WIP-1:NEXT(16$);

;
;
; Model statements for module: Dispose 1
;
16$    ASSIGN:    Dispose 1.NumberOut=Dispose 1.NumberOut + 1;
204$    DISPOSE:  Yes;

```

```

;
;
;   Model statements for module: Create 2
;

205$   CREATE,
SchedValue(P1B),MinutesToBaseTime(56),100f48:MinutesToBaseTime(297):NEXT(206$);

206$   ASSIGN:    1B.NumberOut=1B.NumberOut + 1:NEXT(2$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 2
;
2$     ASSIGN:    aut=2:
                tempo=tnow:
                Deb1B=0.042:
                te1B=297:NEXT(1$);

;
;
;   Model statements for module: Create 3
;

209$   CREATE,
SchedValue(P2A),MinutesToBaseTime(42),54f34:MinutesToBaseTime(533):NEXT(210$);

210$   ASSIGN:    2A.NumberOut=2A.NumberOut + 1:NEXT(3$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 3
;
3$     ASSIGN:    aut=3:
                tempo=tnow:
                Deb2A=0.027:
                te2A=533:NEXT(1$);

;
;
;   Model statements for module: Create 4
;

213$   CREATE,
SchedValue(P2B),MinutesToBaseTime(98),100f52:MinutesToBaseTime(297):NEXT(214$);

214$   ASSIGN:    2B.NumberOut=2B.NumberOut + 1:NEXT(4$);

;
;

```

```

; Model statements for module: Assign 4
;
4$    ASSIGN:    aut=4:
          tempo=tnow:
          Deb2B=0.042:
          te2B=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 5
;

217$    CREATE,
SchedValue(P2C),MinutesToBaseTime(0.0),101f80:MinutesToBaseTime(297):NEXT(218$);

218$    ASSIGN:    2C.NumberOut=2C.NumberOut + 1:NEXT(5$);

;
;
; Model statements for module: Assign 5
;
5$    ASSIGN:    aut=5:
          tempo=tnow:
          Deb2C=0.042:
          te2C=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 6
;

221$    CREATE,
SchedValue(P3A),MinutesToBaseTime(154),100f23:MinutesToBaseTime(297):NEXT(222$);

222$    ASSIGN:    3A.NumberOut=3A.NumberOut + 1:NEXT(6$);

;
;
; Model statements for module: Assign 6
;
6$    ASSIGN:    aut=6:
          tempo=tnow:
          Deb3A=0.042:
          te3A=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 7
;

```

```

225$      CREATE,
SchedValue(P3B),MinutesToBaseTime(210),100f23:MinutesToBaseTime(297):NEXT(226$);

226$      ASSIGN:      3B.NumberOut=3B.NumberOut + 1:NEXT(7$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 7
;
7$      ASSIGN:      aut=7:
                      tempo=tnow:
                      Deb3B=0.042:
                      te3B=297:NEXT(1$);

;
;
;   Model statements for module: Create 8
;

229$      CREATE,
SchedValue(P4A),MinutesToBaseTime(112),101f68:MinutesToBaseTime(297):NEXT(230$);

230$      A SSIGN:      4A.NumberOut=4A.NumberOut + 1:NEXT(8$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 8
;
8$      ASSIGN:      aut=8:
                      tempo=tnow:
                      Deb4A=0.042:
                      te4A=297:NEXT(1$);

;
;
;   Model statements for module: Create 9
;

233$      CREATE,
SchedValue(P4B),MinutesToBaseTime(168),101f68:MinutesToBaseTime(297):NEXT(234$);

234$      ASSIGN:      4B.NumberOut=4B.NumberOut + 1:NEXT(9$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 9
;
9$      ASSIGN:      aut=9:
                      tempo=tnow:
                      Deb4B=0.042:
                      te4B=297:NEXT(1$);

```

```

;
;
; Model statements for module: Create 10
;

237$      CREATE,
SchedValue(P5A),MinutesToBaseTime(224),101f68:MinutesToBaseTime(297):NEXT(238$);

238$      ASSIGN:    5A.NumberOut=5A.NumberOut + 1:NEXT(10$);

;
;
; Model statements for module: Assign 10
;
10$      ASSIGN:    aut=10:
                    tempo=tnow:
                    Deb5A=0.042:
                    te5A=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 12
;

241$      CREATE,
SchedValue(P5B),MinutesToBaseTime(280),101f68:MinutesToBaseTime(297):NEXT(242$);

242$      ASSIGN:    5B.NumberOut=5B.NumberOut + 1:NEXT(11$);

;
;
; Model statements for module: Assign 11
;
11$      ASSIGN:    aut=11:
                    tempo=tnow:
                    Deb5B=0.042:
                    te5B=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 13
;

245$      CREATE,
SchedValue(P6A),MinutesToBaseTime(336),70f60:MinutesToBaseTime(353):NEXT(246$);

246$      ASSIGN:    6A.NumberOut=6A.NumberOut + 1:NEXT(12$);

;

```

```

;
; Model statements for module: Assign 12
;
12$    ASSIGN:    aut=12:
           tempo=tnow:
           Deb6A=0.035:
           te6A=353:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 14
;

249$    CREATE,
SchedValue(P6B),MinutesToBaseTime(392),101f68:MinutesToBaseTime(297):NEXT(250$);

250$    ASSIGN:    6B.NumberOut=6B.NumberOut + 1:NEXT(13$);

;
;
; Model statements for module: Assign 13
;
13$    ASSIGN:    aut=13:
           tempo=tnow:
           Deb6B=0.042:
           te6B=297:NEXT(1$);

;
;
; Model statements for module: Create 15
;

253$    CREATE,
1,MinutesToBaseTime(0.0),QG1:MinutesToBaseTime(EXPO(24*30*60/(TPG1/48*962))):NEXT(254$);

254$    ASSIGN:    Quebras Grupo 1.NumberOut=Quebras Grupo 1.NumberOut + 1:NEXT(20$);

;
;
; Model statements for module: Assign 25
;
20$    ASSIGN:    tempo=tnow:NEXT(21$);

;
;
; Model statements for module: Decide 2
;
21$    BRANCH,    1:
           With,4/100,23$,Yes:
           With,56/100,27$,Yes:
           Else,30$,Yes;

```

```

;
;
;   Model statements for module: Process 10
;
30$   ASSIGN:    QBobina G1.NumberIn=QBobina G1.NumberIn + 1:
          QBobina G1.WIP=QBobina G1.WIP+1;
262$   QUEUE,    QBobina G1.Queue;
261$   SEIZE,     2,VA:
          SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(260$);

260$   DELAY:     MinutesToBaseTime(Normal(26.4,9.69)),VA;
259$   RELEASE:   SELECT(Operadores,LAST),1;
307$   ASSIGN:    QBobina G1.NumberOut=QBobina G1.NumberOut + 1:
          QBobina G1.WIP=QBobina G1.WIP-1:NEXT(36$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 30
;
36$   ASSIGN:     tipo=1:
          tempo=tnow-tempo:
          QBG1=QBG1+1:NEXT(32$);

;
;
;   Model statements for module: Decide 3
;
32$   BRANCH,     1:
          With,20.8/100,33$,Yes:
          With,4.2/100,37$,Yes:
          With,12.5/100,38$,Yes:
          With,12.5/100,39$,Yes:
          With,12.5/100,40$,Yes:
          With,12.5/100,41$,Yes:
          With,12.5/100,42$,Yes:
          Else,43$,Yes;

;
;
;   Model statements for module: Assign 38
;
43$   ASSIGN:     Ref6B=Ref6B+3*tipo*Deb6B*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
;   Model statements for module: Dispose 4
;
44$   ASSIGN:     Dispose 4.NumberOut=Dispose 4.NumberOut + 1;
312$  DISPOSE:    Yes;

;

```

```

;
; Model statements for module: Assign 26
;
33$    ASSIGN:    Ref1A=Ref1A+3*tipo*Deb1A*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 31
;
37$    ASSIGN:    Ref1B=Ref1B+3*tipo*Deb1B*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 32
;
38$    ASSIGN:    Ref4A=Ref4A+3*tipo*Deb4A*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 33
;
39$    ASSIGN:    Ref4B=Ref4B+3*tipo*Deb4B*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 34
;
40$    ASSIGN:    Ref5A=Ref5A+3*tipo*Deb5A*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 35
;
41$    ASSIGN:    Ref5B=Ref5B+3*tipo*Deb5B*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Assign 36
;
42$    ASSIGN:    Ref6A=Ref6A+3*tipo*Deb6A*tempo*60:NEXT(44$);

;
;
; Model statements for module: Separate 2
;
23$    DUPLICATE, 100 - 50:
        1,315$,50:NEXT(314$);

314$    ASSIGN:    Separate 2.NumberOut Orig=Separate 2.NumberOut Orig + 1:NEXT(22$);

```

```

315$    ASSIGN:    Separate 2.NumberOut Dup=Separate 2.NumberOut Dup + 1:NEXT(24$);

;
;
;    Model statements for module: Process 4
;
22$    ASSIGN:    QPosicao G11.NumberIn=QPosicao G11.NumberIn + 1:
                QPosicao G11.WIP=QPosicao G11.WIP+1;
319$    QUEUE,    QPosicao G11.Queue;
318$    SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(317$);

317$    DELAY:    MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
316$    RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
364$    ASSIGN:    QPosicao G11.NumberOut=QPosicao G11.NumberOut + 1:
                QPosicao G11.WIP=QPosicao G11.WIP-1:NEXT(34$);

;
;
;    Model statements for module: Assign 28
;
34$    ASSIGN:    tipo=4:
                tempo=tnow-tempo:
                QPG1=QPG1+1:NEXT(32$);

;
;
;    Model statements for module: Separate 3
;
24$    DUPLICATE, 100 - 50:
                1,369$,50:NEXT(368$);

368$    ASSIGN:    Separate 3.NumberOut Orig=Separate 3.NumberOut Orig + 1:NEXT(25$);
369$    ASSIGN:    Separate 3.NumberOut Dup=Separate 3.NumberOut Dup + 1:NEXT(26$);

;
;
;    Model statements for module: Process 6
;
25$    ASSIGN:    QPosicao G12.NumberIn=QPosicao G12.NumberIn + 1:
                QPosicao G12.WIP=QPosicao G12.WIP+1;
373$    QUEUE,    QPosicao G12.Queue;
372$    SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(371$);

371$    DELAY:    MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
370$    RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
418$    ASSIGN:    QPosicao G12.NumberOut=QPosicao G12.NumberOut + 1:
                QPosicao G12.WIP=QPosicao G12.WIP-1:NEXT(31$);

```

```

;
;
; Model statements for module: Dispose 3
;
31$    ASSIGN:    Lixo.NumberOut=Lixo.NumberOut + 1;
421$    DISPOSE:    Yes;

;
;
; Model statements for module: Process 7
;
26$    ASSIGN:    QPosicao G13.NumberIn=QPosicao G13.NumberIn + 1:
                QPosicao G13.WIP=QPosicao G13.WIP+1;
425$    QUEUE,    QPosicao G13.Queue;
424$    SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(423$);

423$    DELAY:    MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
422$    RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
470$    ASSIGN:    QPosicao G13.NumberOut=QPosicao G13.NumberOut + 1:
                QPosicao G13.WIP=QPosicao G13.WIP-1:NEXT(31$);

;
;
; Model statements for module: Separate 4
;
27$    DUPLICATE,    100 - 50:
                1,475$,50:NEXT(474$);

474$    ASSIGN:    Separate 4.NumberOut Orig=Separate 4.NumberOut Orig + 1:NEXT(28$);

475$    ASSIGN:    Separate 4.NumberOut Dup=Separate 4.NumberOut Dup + 1:NEXT(29$);

;
;
; Model statements for module: Process 8
;
28$    ASSIGN:    QCabecote G11.NumberIn=QCabecote G11.NumberIn + 1:
                QCabecote G11.WIP=QCabecote G11.WIP+1;
479$    QUEUE,    QCabecote G11.Queue;
478$    SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(477$);

477$    DELAY:    MinutesToBaseTime(10+LOGN(20.4,31)),,VA;
476$    RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
524$    ASSIGN:    QCabecote G11.NumberOut=QCabecote G11.NumberOut + 1:
                QCabecote G11.WIP=QCabecote G11.WIP-1:NEXT(31$);

;
;
; Model statements for module: Process 9

```

```

;
29$    ASSIGN:    Qcabecote G12.NumberIn=Qcabecote G12.NumberIn + 1:
                Qcabecote G12.WIP=Qcabecote G12.WIP+1;
530$    QUEUE,    Qcabecote G12.Queue;
529$    SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(528$);

528$    DELAY:    MinutesToBaseTime(10+LOGN(20.4,31)),,VA;
527$    RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
575$    ASSIGN:    Qcabecote G12.NumberOut=Qcabecote G12.NumberOut + 1:
                Qcabecote G12.WIP=Qcabecote G12.WIP-1:NEXT(35$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 29
;
35$    ASSIGN:    tipo=2:
                tempo=tnow-tempo:
                QCG1=QCG1+1:NEXT(32$);

;
;
;   Model statements for module: Create 16
;

578$    CREATE,
1,MinutesToBaseTime(0.0),QG2:MinutesToBaseTime(EXPO(24*30*60/(TPG2/20*591))):NEXT(579$);

579$    ASSIGN:    Quebras G2.NumberOut=Quebras G2.NumberOut + 1:NEXT(45$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 39
;
45$    ASSIGN:    tempo=tnow:NEXT(46$);

;
;
;   Model statements for module: Decide 4
;
46$    BRANCH,    1:
                With,7/100,47$,Yes:
                With,60/100,52$,Yes:
                Else,55$,Yes;

;
;
;   Model statements for module: Process 17
;
55$    ASSIGN:    QBobina G2.NumberIn=QBobina G2.NumberIn + 1:
                QBobina G2.WIP=QBobina G2.WIP+1;
587$    QUEUE,    QBobina G2.Queue;

```

```

586$      SEIZE,      2,VA:
          SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(585$);

585$      DELAY:      MinutesToBaseTime(Normal(26.4,9.69)),,VA;
584$      RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
632$      ASSIGN:     QBobina G2.NumberOut=QBobina G2.NumberOut + 1:
          QBobina G2.WIP=QBobina G2.WIP-1:NEXT(59$);

;
;
;  Model statements for module: Assign 42
;
59$      ASSIGN:      tipo=1:
          tempo=tnow-tempo:
          QBG2=QBG2+1:NEXT(60$);

;
;
;  Model statements for module: Decide 5
;
60$      BRANCH,      1:
          With,30/100,61$,Yes:
          With,15/100,62$,Yes:
          With,5/100,63$,Yes:
          With,25/100,64$,Yes:
          Else,65$,Yes;

;
;
;  Model statements for module: Assign 47
;
65$      ASSIGN:      Ref3B=Ref3B+3*tipo*Deb3B*tempo*60:NEXT(66$);

;
;
;  Model statements for module: Dispose 6
;
66$      ASSIGN:      Dispose 6.NumberOut=Dispose 6.NumberOut + 1;
637$     DISPOSE:     Yes;

;
;
;  Model statements for module: Assign 43
;
61$      ASSIGN:      Ref2A=Ref2A+3*tipo*Deb2A*tempo*60:NEXT(66$);

;
;
;  Model statements for module: Assign 44
;
62$      ASSIGN:      Ref2B=Ref2B+3*tipo*Deb2B*tempo*60:NEXT(66$);

```

```

;
;
; Model statements for module: Assign 45
;
63$    ASSIGN:    Ref2C=Ref2C+3*tipo*Deb2C*tempo*60:NEXT(66$);

;
;
; Model statements for module: Assign 46
;
64$    ASSIGN:    Ref3A=Ref3A+3*tipo*Deb3A*tempo*60:NEXT(66$);

;
;
; Model statements for module: Separate 5
;
47$    DUPLICATE, 100 - 50:
        1,640$,50:NEXT(639$);

639$    ASSIGN:    Separate 5.NumberOut Orig=Separate 5.NumberOut Orig + 1:NEXT(49$);

640$    ASSIGN:    Separate 5.NumberOut Dup=Separate 5.NumberOut Dup + 1:NEXT(48$);

;
;
; Model statements for module: Process 12
;
49$    ASSIGN:    QPosicao G21.NumberIn=QPosicao G21.NumberIn + 1:
        QPosicao G21.WIP=QPosicao G21.WIP+1;
644$    QUEUE,    QPosicao G21.Queue;
643$    SEIZE,    2,VA:
        SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(642$);

642$    DELAY:    MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
641$    RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
689$    ASSIGN:    QPosicao G21.NumberOut=QPosicao G21.NumberOut + 1:
        QPosicao G21.WIP=QPosicao G21.WIP-1:NEXT(57$);

;
;
; Model statements for module: Assign 40
;
57$    ASSIGN:    tipo=4:
        tempo=tnow-tempo:
        QPG2=QPG2+1:NEXT(60$);

;
;
; Model statements for module: Separate 6

```

```

;
48$    DUPLICATE,    100 - 50:
        1,694$,50:NEXT(693$);

693$    ASSIGN:      Separate 6.NumberOut Orig=Separate 6.NumberOut Orig + 1:NEXT(50$);

694$    ASSIGN:      Separate 6.NumberOut Dup=Separate 6.NumberOut Dup + 1:NEXT(51$);

;
;
;   Model statements for module: Process 13
;
50$    ASSIGN:      QPosicao G22.NumberIn=QPosicao G22.NumberIn + 1:
        QPosicao G22.WIP=QPosicao G22.WIP+1;
698$    QUEUE,      QPosicao G22.Queue;
697$    SEIZE,      2,VA:
        SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(696$);

696$    DELAY:      MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
695$    RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
743$    ASSIGN:      QPosicao G22.NumberOut=QPosicao G22.NumberOut + 1:
        QPosicao G22.WIP=QPosicao G22.WIP-1:NEXT(56$);

;
;
;   Model statements for module: Dispose 5
;
56$    ASSIGN:      Dispose 5.NumberOut=Dispose 5.NumberOut + 1;
746$    DISPOSE:    Yes;

;
;
;   Model statements for module: Process 14
;
51$    ASSIGN:      QPosicao G23.NumberIn=QPosicao G23.NumberIn + 1:
        QPosicao G23.WIP=QPosicao G23.WIP+1;
750$    QUEUE,      QPosicao G23.Queue;
749$    SEIZE,      2,VA:
        SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(748$);

748$    DELAY:      MinutesToBaseTime(20+LOGN(54.7,85.4)),,VA;
747$    RELEASE:    SELECT(Operadores,LAST),1;
795$    ASSIGN:      QPosicao G23.NumberOut=QPosicao G23.NumberOut + 1:
        QPosicao G23.WIP=QPosicao G23.WIP-1:NEXT(56$);

;
;
;   Model statements for module: Separate 7
;
52$    DUPLICATE,    100 - 50:
        1,800$,50:NEXT(799$);

```

```

799$    ASSIGN:    Separate 7.NumberOut Orig=Separate 7.NumberOut Orig + 1:NEXT(53$);

800$    ASSIGN:    Separate 7.NumberOut Dup=Separate 7.NumberOut Dup + 1:NEXT(54$);

;
;
;   Model statements for module: Process 15
;
53$     ASSIGN:    QCabecote G21.NumberIn=QCabecote G21.NumberIn + 1:
                QCabecote G21.WIP=QCabecote G21.WIP+1;
804$     QUEUE,    QCabecote G21.Queue;
803$     SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(802$);

802$     DELAY:    MinutesToBaseTime(10+LOGN(20.4,31)),,VA;
801$     RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
849$     ASSIGN:    QCabecote G21.NumberOut=QCabecote G21.NumberOut + 1:
                QCabecote G21.WIP=QCabecote G21.WIP-1:NEXT(56$);

;
;
;   Model statements for module: Process 16
;
54$     ASSIGN:    QCabecote G22.NumberIn=QCabecote G22.NumberIn + 1:
                QCabecote G22.WIP=QCabecote G22.WIP+1;
855$     QUEUE,    QCabecote G22.Queue;
854$     SEIZE,    2,VA:
                SELECT(Operadores,CYC, ),1:NEXT(853$);

853$     DELAY:    MinutesToBaseTime(10+LOGN(20.4,31)),,VA;
852$     RELEASE:  SELECT(Operadores,LAST),1;
900$     ASSIGN:    QCabecote G22.NumberOut=QCabecote G22.NumberOut + 1:
                QCabecote G22.WIP=QCabecote G22.WIP-1:NEXT(58$);

;
;
;   Model statements for module: Assign 41
;
58$     ASSIGN:    tipo=2:
                tempo=tnow-tempo:
                QCG2=QCG2+1:NEXT(60$);

;
;
;   Model statements for module: Create 17
;
903$     CREATE,
SchedValue(P1A2),MinutesToBaseTime(56),100f23:MinutesToBaseTime(297):NEXT(904$);

904$     ASSIGN:    1A2.NumberOut=1A2.NumberOut + 1:NEXT(0$);

```

PROJECT, "Unnamed Project", "EMPRESA.",,,,No,Yes,Yes,Yes,No,No,No,No,No;

ATTRIBUTES: tipo:

te1A:
te2A:
te2C:
te3B:
aut:
te4A:
te4B:
tempo:
te5A:
te5B:
te6A:
te6B;

SCHEDULES:

P2A,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(6,1),DATA(5,2),DATA(4,3),DATA(6,2),DATA(5,1),DATA(6,2),

DATA(4,1),DATA(5,1),DATA(6,3),DATA(5,1),DATA(6,12),DATA(5,1):

P2B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(3,30):

P2C,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(Days):

P3A,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(5,30):

P3B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(5,30):

P4A,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(6,30):

P4B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(6,30):

Horario

1,TYPE(Capacity),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(hours),DATA(1,1),DATA(0,1),DATA(1,7),DATA(0,1),DATA(1,7),

DATA(0,1),DATA(1,6):

Horario

2,TYPE(Capacity),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(hours),DATA(1,2),DATA(0,1),DATA(1,7),DATA(0,1),DATA(1,7),

DATA(0,1),DATA(1,5):

Horario

3,TYPE(Capacity),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(hours),DATA(1,3),DATA(0,1),DATA(1,7),DATA(0,1),DATA(1,7),

DATA(0,1),DATA(1,4):

P5A,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(6,30):

P5B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(0,1),DATA(6,29):

P6A,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(0,10),DATA(6,20):

P6B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(6,20),DATA(0,1),DATA(6,9):

P1A1,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(10,21),DATA(0,Infinite):

P1A2,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(0,21),DATA(9,9):

P1B,TYPE(Other),FORMAT(Duration),FACTOR(1.0),UNITS(days),DATA(2,30);

VARIABLES: Duplica posicao.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

QCabecote G21.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

Dispose 5.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

Separate 5.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

Separate 3.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

2A.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

4B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

1A2.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):

QCabecote G12.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):

```
Duplica posicao.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Virada.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
Qcabecote G12.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Paralelo.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QCabecote G22.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
5A.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Deb1A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb1B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
ProdA,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
ProdB,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Virada.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
ProdC,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
1B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
ProdD,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QBobina G2.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
ProdE,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
ProdF,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
ProdG,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QCabecote G21.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
ProdH,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
ProdI,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPosicao G13.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
Ref1A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Ref1B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb2A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb2B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb2C,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPosicao G22.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
Separate 2.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G13.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G11.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Ref2A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QBobina G1.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
Ref2B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPosicao G13.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Ref2C,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb3A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb3B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPosicao G22.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Virada.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QBG1,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QBG2,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Prod1A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Prod1B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Separate 4.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Ref3A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Ref3B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb4A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Deb4B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Separate 6.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Dispose 4.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G22.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Dispose 7.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Prod2A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Prod2B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
Prod2C,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
```

1A1.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
2C.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Ref4A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Ref4B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Deb5A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Deb5B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QCabecote G11.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QBobina G2.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QCabecote G12.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Dispose 1.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
3B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Prod3A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Prod3B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Ref5A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Ref5B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Deb6A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Deb6B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Separate 5.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
te1B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QCG1,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QCG2,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
4A.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
6B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QCabecote G11.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");
Prod4A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Prod4B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Separate 3.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Ref6A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Ref6B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QBobina G1.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
te2B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QPosicao G12.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");
Prod5A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Prod5B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QPosicao G21.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
te3A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Separate 7.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QCabecote G21.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QPosicao G21.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");
Prod6A,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
QPosicao G12.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Prod6B,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified");
Dispose 6.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Quebras Grupo 1.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Paralelo.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
5B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Separate 6.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QCabecote G22.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");
QCabecote G22.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QPosicao G12.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
6A.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Separate 4.NumberOut Orig,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
2B.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Lixo.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
Separate 2.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude");
QPosicao G23.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");

```

Quebras G2.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
3A.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPG1,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPG2,CLEAR(System),CATEGORY("User Specified-User Specified"):
QPosicao G21.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QBobina G2.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
Paralelo.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude"):
QPosicao G23.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
Separate 7.NumberOut Dup,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G23.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QBobina G1.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QCabecote G11.NumberIn,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G11.NumberOut,CLEAR(Statistics),CATEGORY("Exclude"):
QPosicao G11.WIP,CLEAR(System),CATEGORY("Exclude-Exclude");

QUEUES:   QBobina G1.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G21.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QCabecote G12.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QBobina G2.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G22.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QCabecote G21.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G23.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QCabecote G22.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G11.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          Paralelo.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G12.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QCabecote G11.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          Virada.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
          QPosicao G13.Queue,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,);

PICTURES:  Picture.Airplane:
          Picture.Green Ball:
          Picture.Blue Page:
          Picture.Telephone:
          Picture.Blue Ball:
          Picture.Yellow Page:
          Picture.EMail:
          Picture.Yellow Ball:
          Picture.Bike:
          Picture.Report:
          Picture.Van:
          Picture.Widgets:
          Picture.Envelope:
          Picture.Fax:
          Picture.Truck:
          Picture.Letter:
          Picture.Box:
          Picture.Woman:
          Picture.Package:
          Picture.Man:
          Picture.Diskette:
          Picture.Boat:
          Picture.Red Page:
          Picture.Green Page:
          Picture.Red Ball;
```

RESOURCES: OP01,Schedule(Horario
1,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP02,Schedule(Horario 2,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP03,Schedule(Horario 3,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP04,Schedule(Horario 1,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP05,Schedule(Horario 2,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP06,Schedule(Horario 3,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP07,Schedule(Horario 1,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):
OP08,Schedule(Horario 2,Preempt),,,COST(0.0,0.0,0.0),CATEGORY(Resources),,AUTOSTATS(Yes,,):;

REPLICATE, 1,,DaysToBaseTime(30),Yes,Yes,,,,24,Hours,No,No,,,Yes;

EXPRESSIONS:

TotRef,Ref1A+Ref1B+Ref2A+Ref2B+Ref2C+Ref3A+Ref3B+Ref4A+Ref4B+Ref5A+Ref5B+Ref6A+Ref6B:
SMDO,

MAX(0.0001,(DAVG(OP01.NumberScheduled)+DAVG(OP02.NumberScheduled)+DAVG(OP03.NumberScheduled)+DAVG(OP04.NumberScheduled)+DAVG(OP05.NumberScheduled)+DAVG(OP06.NumberScheduled)+DAVG(OP07.NumberScheduled)+DAVG(OP08.NumberScheduled)))

:
TotTipo,ProdA+ProdB+ProDC+ProDD+ProDE+ProDF+ProDG+ProDH+ProDI:
MDO,

DAVG(OP01.NumberBusy)+DAVG(OP02.NumberBusy)+DAVG(OP03.NumberBusy)+DAVG(OP04.NumberBusy)+DAVG(OP05.NumberBusy)+DAVG(OP06.NumberBusy)+DAVG(OP07.NumberBusy)+DAVG(OP08.NumberBusy)

:
RefN,.98:
TPG1,

SchedValue(P1A1)+SchedValue(P1A2)+SchedValue(P1B)+SchedValue(P4A)+SchedValue(P4B)+SchedValue(P5A)+SchedValue(P5B)+SchedValue(P6A)+SchedValue(P6B)

:
TPG2,SchedValue(P2A)+SchedValue(P2B)+SchedValue(P2C)+SchedValue(P3A)+SchedValue(P3B):

TotProd,Prod1A+Prod1B+Prod2A+Prod2B+Prod2C+Prod3A+Prod3B+Prod4A+Prod4B+Prod5A+Prod5B+Prod6A+Prod6B;

ENTITIES: Bio,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
100f23,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
70f60,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
100f34,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
100f48,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
100f52,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
101f68,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
101f80,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
QG1,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
QG2,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):
54f34,Picture.Report,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,AUTOSTATS(Yes,,):

SETS: Operadores,OP01,OP02,OP03,OP04,OP05,OP06,OP07,OP08;