

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE MOAGEM DE TRIGO UTILIZANDO REDES DE PETRI HÍBRIDAS

Francisco Natanael PEREIRA SOUZA (1); Pedro Urbano B. ALBUQUERQUE (2); Giovanni Cordeiro BARROSO (3); Auzuir Ripardo ALEXANDRIA

(1) CEFETCE, Rua Clemente Silva, nº. 179, Fortaleza-CE, (85)87042018, e-mail: macromasterx@hotmail.com

(2) CEFETCE, purbano@dpmengenharia.com.br

(3) UFC, gcn@fisica.ufc.br

(4) CEFETCE, auzuir@hotmail.com

RESUMO

O processo de moagem de trigo é bastante complexo possuindo muitos elementos de diferentes características e que interagem fortemente entre si com o objetivo de extrair o máximo de farinha e sêmola oriunda do endosperma do grão o separando do farelo e remoído originários da casca. O trabalho apresenta a modelagem do processo de moagem do trigo através de Redes de Petri coloridas. O modelo que utiliza essa ferramenta de modelagem de sistemas consegue simular situações que ocorrem em um processo deste tipo como: a partida do moinho em vazio, entupimentos e vazamentos em peneiras refletidos no rendimento de cada máquina que está envolvida no método de moagem. O estudo do caso da modelagem de uma indústria de beneficiamento de trigo segue em partes: primeiro é estudado o funcionamento do moinho e o processo de moagem como um todo para em seguida a modelagem ser desenvolvida com a ajuda de um *software* específico no desenvolvimento de modelos em Redes de Petri coloridas. Este trabalho pode ser utilizado como auxílio na manutenção e operação de uma indústria de beneficiamento de trigo típica, bem como servir de base para implementação de controle supervisão e otimização do processo.

Palavras-chave: Redes de Petri Coloridas, Indústria de trigo, Simulação de sistemas.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de moagem de trigo possui grande importância na economia local, nacional e internacional. Além da importância econômica, há a importância social, já que os derivados de trigo, em especial o pão, são componentes da cesta básica, sendo um dos principais alimentos das classes de baixa renda.

Já que as redes de Petri têm sido utilizadas largamente na modelagem, simulação, análise e síntese de supervisores com sucesso em todo o mundo. A utilização de redes de Petri híbridas na modelagem do processo de fabricação de trigo permite um maior entendimento deste processo, principalmente se é feito uso de ferramentas computacionais como o *CPNTools* e *MATLAB*. Análises de rendimento e de anomalias como: rasgos em peneiras de *plansichters*, entupimentos de compartimentos de *plansichters* podem ser simulados apenas com mudanças em parâmetros do modelo, além de condições de partida, permitem uma maior gestão e manutenção do processo.

Este trabalho pode ser utilizado como auxílio no projeto, manutenção e operação de novas indústrias, bem como servir de base para implementação de controle supervisão e otimização do processo. Desta forma o uso das ferramentas computacionais mencionadas, aplicados em modelos de equipamentos utilizando redes de Petri híbridas é bastante justificável para melhoria do processo de fabricação de farinha de trigo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As RPC são ferramentas orientadas para especificação, projeto, simulação, validação e implementação de sistemas que possam ser interpretados como direcionados a eventos discretos e são consideradas uma das mais poderosas linguagens para aplicação em sistemas que contêm processos concorrentes e paralelos, entre outros (JENSEN, 1992).

Sistema híbrido advém da interconexão de sistemas de dinâmica contínua com sistemas de dinâmica discreta. A noção de autômatos híbridos oferece meios para construção de especificações formais para tais sistemas. Autômatos híbridos são finitos, onde cada estado descreve um perfil dinâmico do sistema e cujas transições entre estados provocam alterações nestes perfis dinâmicos (BONIFÁCIO, 2000). Para modelar um sistema em Redes de Petri devem-se reconhecer as condições e eventos que ocorrem no sistema, de que maneira se pode fazer a analogia entre o sistema e o modelo. Conhecendo as pré-condições dos eventos podem-se construir os módulos e desenvolver as pós-condições, por isso o conhecimento da estrutura de uma Rede de Petri é importante para saber o que corresponde a uma condição e o que corresponde a um evento na rede.

As Redes de Petri Coloridas (RPC) são uma combinação de Redes de Petri e Linguagem de Programação e é uma linguagem para modelagem de sistemas em que sincronização, comunicação, e recursos compartilhados são importantes (JENSEN, 1992). A vantagem das redes de Petri de alto nível sobre os outros tipos de RP, como a rede lugar transição, é sua capacidade de modelar sistemas complexos e prover modelos com alto nível de abstração e melhor capacidade de representação gráfica. As RPC, ao contrário das RP, são capazes de reduzir o tamanho da rede, modelando todos os componentes ou processos similares em uma única rede, ao invés de ter uma representação de rede separada para cada processo ou componente.

Albuquerque (2007), as RPC são ferramentas orientadas para especificação, projeto, simulação, validação e implementação de sistemas que possam ser interpretados como os eventos discretos e são consideradas uma das mais poderosas linguagens para aplicação em sistemas que contêm processos concorrentes e paralelos. A modelagem com RPC tem a flexibilidade de utilizar diferentes tipos de dados e possui recursos para manipular os dados de forma mais complexa, possibilitando assim a construção de redes mais compactas. Isto é possível porque as RPC utilizam os conceitos de valores de fichas que são chamados de fichas e tipo de dados. Por razões históricas, para distinguir das RP, as fichas são chamadas fichas coloridas e os tipos de dados são denominados conjunto de cores. Nas RPC, cada ficha representa um valor e cada lugar possui um conjunto associado, por onde somente podem passar as fichas que pertencem ao conjunto. Nas RPC cada ficha pode ser modificada pela ocorrência de transições. Além disso, em substituição ao peso do arco, utilizado na RP lugar transição, as RPC possuem inscrições associadas aos arcos. As inscrições de arcos são expressões que especificam os dados que devem existir para cada atividade ocorrer ou que é produzida se uma atividade ocorrer. Da mesma forma, associadas às transições podem ter inscrições denominadas guardas, que são expressões booleanas, com a função de restringir a ocorrência de transições a determinadas condições. Estas inscrições determinam dinamicamente quantas e quais fichas devem ser removidas ou adicionadas aos lugares associados.

Jensen (1992) diz que, a marcação inicial de uma RPC também é determinada pelas transições associadas aos lugares, pois, associadas aos arcos, definem os tipos de fichas retiradas e/ou adicionadas aos lugares no instante da ocorrência de uma transição.

3. METODOLOGIA

A indústria que é responsável pela produção de farinha de trigo é constituída dos seguintes setores: recepção de trigo e pré-limpeza; 1ª limpeza; 2ª limpeza; moinho; ensacamento industrial; ensacamento doméstico (CERTREM, 2005), conforme Figura 1, em que é apresentado o diagrama do processo de beneficiamento do trigo.

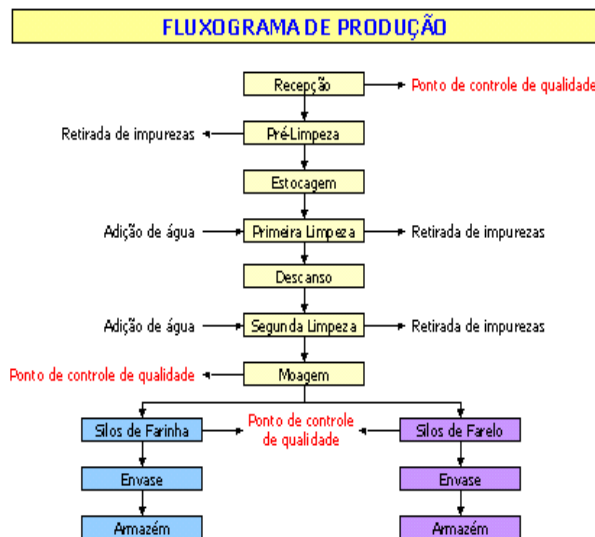


Figura 1 - fluxograma do processo de beneficiamento do trigo.

3.1. Modelagem no CPNTools

O processo modelado é composto inicialmente de uma página (*binder*) a qual tem um escopo do processo geral do moinho como mostrado na Figura 2, esse modelo inicial possui transições hierárquicas que direcionam à sub-redes que modelam e simulam os setores correspondentes. A marcação inicial vista na figura 4.2 toma como base a constituição do grão de trigo adicionada de impurezas.

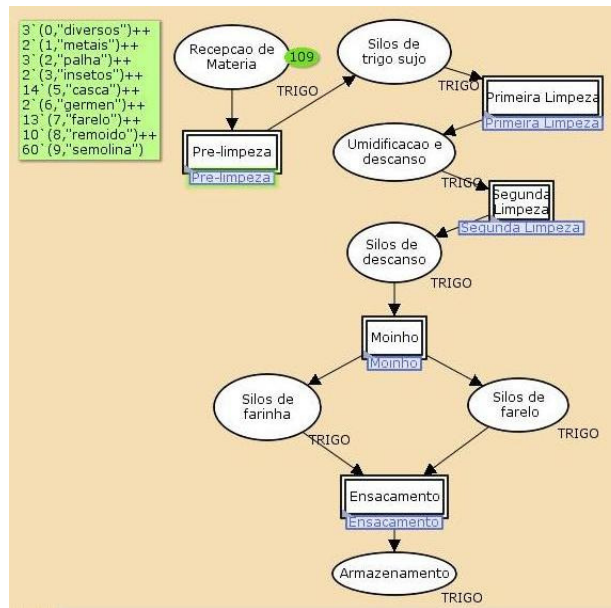


Figura 2 - modelo do processo de moagem.

Na pré-limpeza é realizada uma limpeza grosseira através de equipamentos específicos como ímãs, peneiras e aspiradores, com o objetivo de retirar objetos estranhos como pedras, areia etc. Os grãos são, então, armazenados em silos de estocagem. A pesagem do trigo que entra através da moega é importante para efeito de controle e contabilidade (WEHMANN, 2007). O modelo utilizado nessa etapa é mostrado na figura 3 onde foi modelado o separador a discos, a peneiração e aspiração grosseira como transições, pois esses processos são eventos os quais levam o produto a outros estados, que foram modelados como a recepção, pesagem e os silos de trigo sujo. Há funções nos arcos posteriores às transições, elas delimitam o rendimento das máquinas em desempenhar sua função para a totalidade do processo.

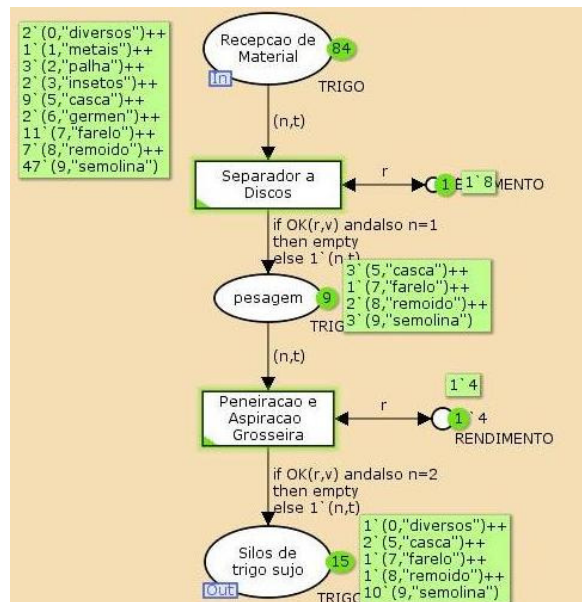


Figura 3 - modelagem da pré-limpeza do trigo.

Na 1ª limpeza, ainda através de ímãs, peneirações e aspirações sucessivas, é realizada uma limpeza mais elaborada procurando rechaçar tudo o que não é trigo e que interfere no processo de moagem como areia, limalha de ferro, grãos de outra natureza (soja, milho, etc.) pela dimensão ou densidade destas impurezas e propriedades ferromagnéticas. No final da 1ª limpeza, o trigo é umedecido e permanece em silos de

descanso, especiais para este fim, por um período em torno de 24 horas, dependendo da natureza do grão a ser moído. Na Figura 4 é mostrado o modelo da 1ª limpeza, os principais equipamentos presentes neste setor são: turbopeneira, saca-pedra, ímã, tarara, desinfetador e polidora horizontal e umedecedora.

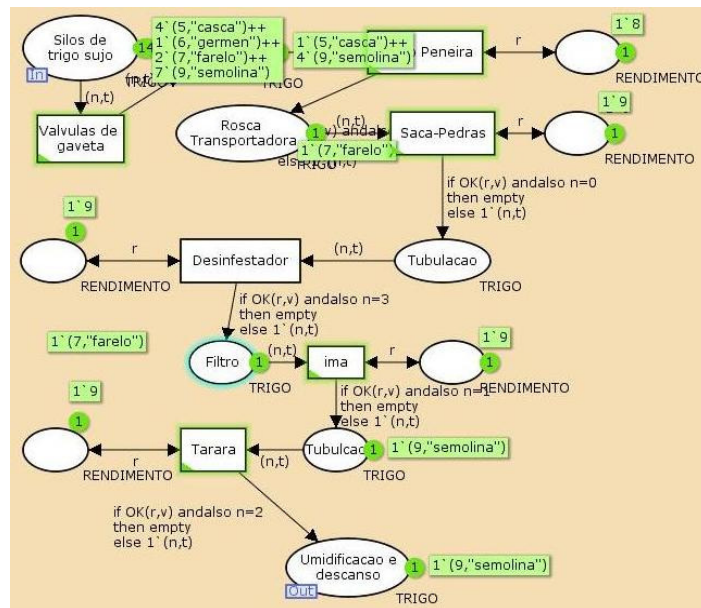


Figura 4 - modelo da 1ª limpeza.

A saca-pedra é um dos equipamentos mais importantes da 1ª limpeza. Idugel (2008) diz que esse equipamento separa as pedras contidas no trigo, bem como as impurezas mais leves. Ainda o mesmo autor explica que a tarara tem a função de separar por aspiração produtos cujo peso específico seja menor que o grão de trigo e a polidora horizontal e desinfetador são mais um dos equipamentos destinados ao tratamento externo do grão: pericarpo, barba e raiz, com o objetivo de eliminar o pó, areia e outras impurezas contidas na superfície do grão. Ela leva o trigo tangencialmente a um eixo horizontal acoplado com “batedores”, onde o trigo é centrifugado, atritando o mesmo a uma tela metálica rugosa. Desta operação resulta o polimento do grão devido ao atrito: grão/grão, grão/batedores e/ou grão/tela metálica. A desinfecção dos grãos da presença de insetos é feita pelo impacto que centrifuga em alta velocidade entre pinos dispostos dentro do equipamento. A força de impacto dos grãos não deve exceder a força de tensão do endosperma. Por fim o trigo é umedecido e permanece nesse local por volta de 24h dependendo da natureza do grão a ser moído. Esta etapa de acondicionamento tem como objetivo facilitar a separação do farelo com o endosperma durante a moagem.

Após este descanso, o trigo passa por uma 2ª limpeza que visa à preparação do grão para a moagem. É na 2ª limpeza que se faz em forma posterior à umidificação e que consta geralmente de uma polidora horizontal que desprende pequenas casquinhas afrouxadas nos silos de descanso e que melhoram sensivelmente os possíveis problemas de contaminação. A modelagem desse processo pode ser vista de forma bem simplificada na figura 5.

No moinho ocorre a moagem do trigo propriamente dita, obtendo-se farinhas, de várias qualidades para diversas utilidades, semolina, o germe e subprodutos como farelo e remoído. Para isto, os grãos primeiramente passam por um processo de trituração onde serão extraídos os vários tipos de farinhas, inclusive as sêmolos e semolinas (endosperma) com o máximo de rendimento e o mínimo de consumo energético. A moagem é dividida nas etapas de trituração, redução e compressão, e têm por objetivo separar o endosperma e o farelo (casca e germe), reduzir endosperma à farinha e obter o máximo em extração com o melhor rendimento industrial. A otimização do rendimento consiste em obter-se a maior quantidade e a melhor qualidade possíveis de farinha com o menor consumo de energia. Devido a restrições tecnológicas, não se pode obter o máximo de qualidade e quantidade ao mesmo tempo, visto que à medida que se extrai mais farinha da casca, mais partículas de farelo são adicionadas à farinha, fazendo cair sua pureza. O desafio

no processo de moagem, então, é extrair o máximo de farinha do farelo. No modelo da figura 6 é mostrado um moinho típico.

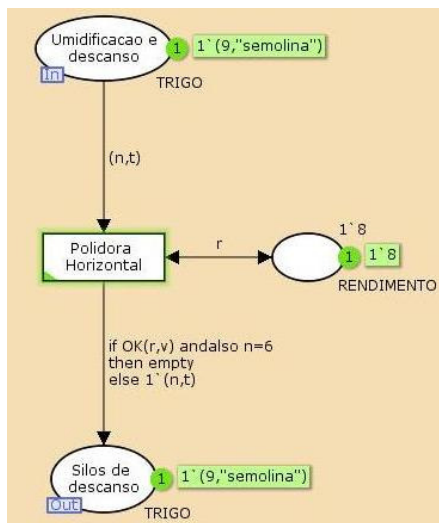
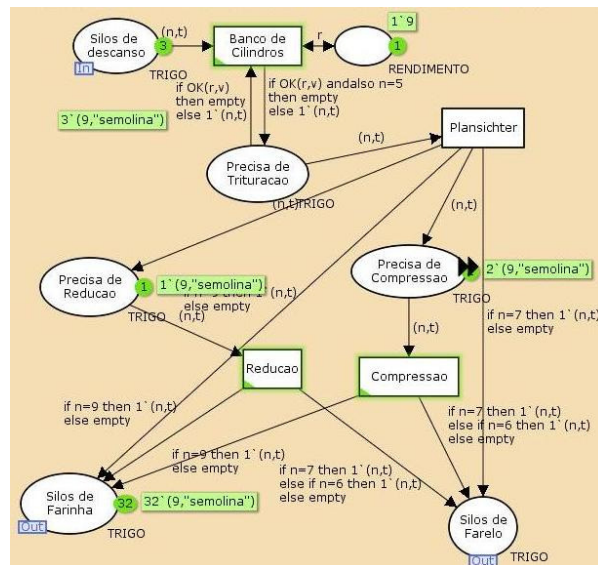


Figura 5 - modelo da segunda limpeza. Figura 6 - modelo de moinho típico.



Dentre os setores de uma indústria de moagem de trigo, o moinho é o mais importante e o mais complexo destes setores. O processo é constituído essencialmente de sucessivas moagens em bancos de cilindros e peneiração em *plansichters* (conjunto de peneiras de diversas aberturas) e separação em sassores. Nessa etapa do processo o modelo possui vários caminhos de retorno para remoer os grãos que não estão bons para o ensacamento e separa qualitativamente a farinha do farelo. Esses produtos, exceto o gérmen que é retirado em pequena quantidade ou adicionado ao farelo, são armazenados separadamente em silos de produtos acabados, aguardando posterior ensacamento ou empacotamento industrial ou mesmo carregamento a granel, quando é oportunamente expedido para clientes (WEHMAN, 2007).

O ensacamento é simulado de maneira bem simples. Nessa etapa os produtos são embalados em sacos de papel ou plástico de 1 e 5 kg, estes são produtos destinados aos consumidores, e no caso dos embalados em 5 kg, muitas vezes são destinados a pequenos transformadores, tais como pizzarias, confeitarias etc. A farinha de trigo embalada em 50 kg, normalmente em sacarias de ráfia, vai para as indústrias e o setor alimentício.

3.2. Comunicação com o CPNTools

A interação de *softwares* hoje é possível pela comunicação via protocolo TCP/IP. O *CPNTools* possui a biblioteca Comms/CPN que foi desenvolvida para permitir a comunicação entre esse programa e processos externos utilizando o protocolo TCP/IP (SOUSA, 2005). O *Matlab*, por sua vez, possui as bibliotecas *TCPIP Toolbox* e *TCP/UDP/IP Toolbox* que permitem a criação de conexões TCP/IP ou enviar/receber pacotes UDP/IP no *Matlab*. Já o *Builder C++* possui componentes que podem ser utilizados para comunicação no modo orientado, são os componentes *ServerSocket* e *ClientSocket*.

O *CPNTools* precisa de um componente *javaCPN* que deve ser criado para que haja comunicação com uma porta pré-configurada com o *Comms/CPN*. Tipicamente o comportamento do servidor é ficar em um *loop* aguardando novas conexões e gerando *sockets* para atender as solicitações dos clientes. Logo o *JavaCPN* funciona como intermediário entre o *CPNTools* e quaisquer aplicativo que usar o *socket* configurado para comunicação, seja pelo *Matlab* ou *Builder C++*.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Foram feitos dois modelos em Redes de Petri Colorida para o moinho. Ambos tomam como base a modelagem do fluxo, sendo que o primeiro modela o controle do moinho pelo fluxo e o segundo modela de forma quantitativa as passagens no moinho de trigo. Primeiramente há um modelo do funcionamento do moinho mostrado na figura 7, para partindo dessa, com uso de hierarquias, a modelagem ser aprofundada.

Ainda na mesma imagem há a marcação inicial da rede a qual os números à frente da palavra trigo são considerados índices de fluxo para o produto.

Então, por meio da transição hierárquica “banco de cilindros”, se ingressa em uma sub-rede que faz o estudo do controle de velocidade através do fluxo de trigo. Como mostrado na figura 8 o controle é feito observando os eventos LSH (fluxo alto) e LSL (fluxo baixo) que foram colocados respectivamente pelos índices 5 e 1. Entre esse controle há o funcionamento normal da máquina pelos índices 2,3 e 4, onde a velocidade dos rolos é feita por controle proporcional. Ainda na mesma figura, quando LSH é acionado o banco de cilindros aumenta a velocidade e soa um alarme. Quando LSL é acionado há o afastamento dos rolos e um novo acionamento de alarme. Quando não há fluxo de trigo os rolos devem ser afastados, pois pode haver risco de incêndio dentro do equipamento ocasionado pelo atrito do metal dos rolos do banco de cilindros. O produto desses é então enviado para os *plansichters*.

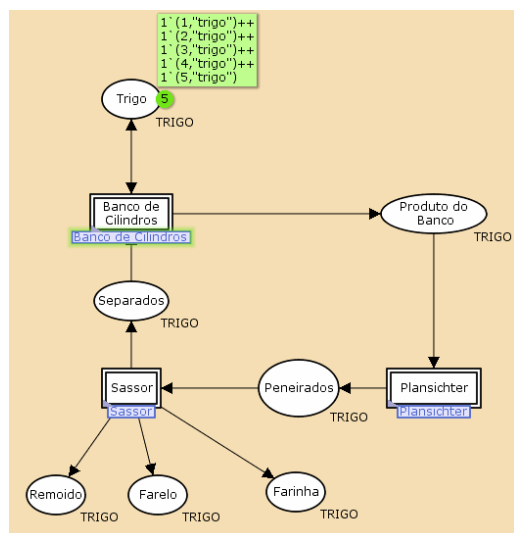


Figura 7 - modelo principal do moinho

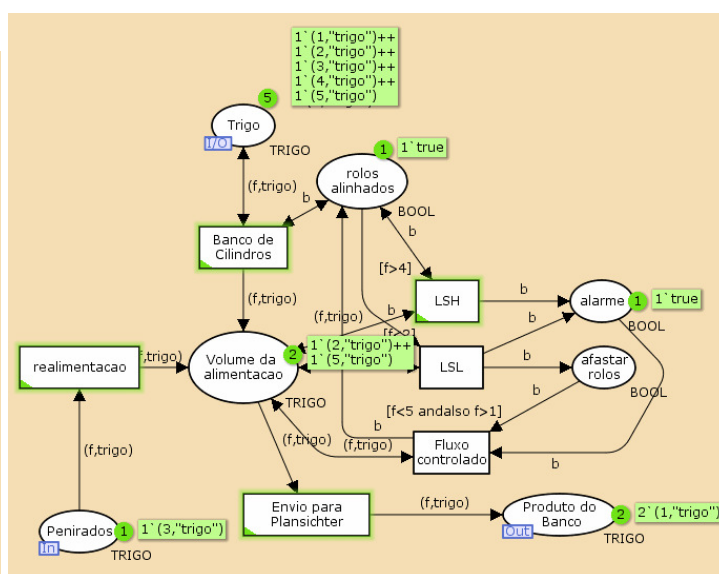


Figura 8 - transição banco de cilindros

Nas figuras 9 e 10 há a modelagem respectivamente dos *plansichter* e do sessor, os quais são responsáveis pela separação dos grãos de acordo com o tamanho e tipo. O sessor no fim do processo envia o produto do moinho para os lugares apropriados.

O segundo modelo produzido mostrado na figura 11 implementa o uso de vários processos para o moinho com uma todo, tomando como base o modelo do moinho de trigo em redes de Petri contínua produzida por Wehmann (2007). O software empregado para a modelagem foi o CPNTools. O qual não aceita números reais em seus lugares, para solucionar esse problema o valor 100 que seria a marcação inicial para medida de fluxo em cada parte da rede foi multiplicado por 1000, para que assim com os cálculos feitos nas transições processo tem-se três casas decimais na medida em percentual do fluxo que está em cada lugar. Logo o valor percentual de cada lugar é o somatório de seus valores divididos por 1000, tendo como resultado o fluxo de cada lugar em percentual com três casas de aproximação.

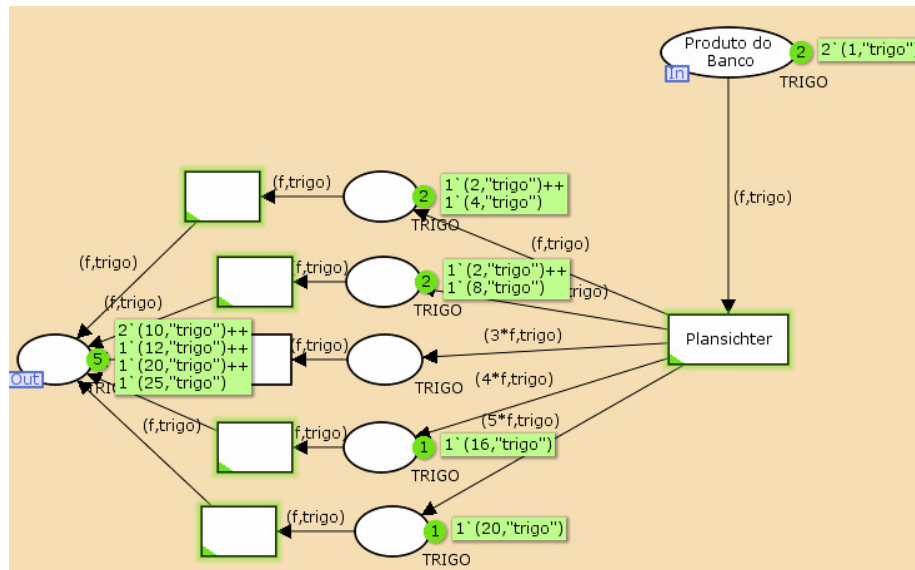


Figura 9 - modelo do *plansichter*

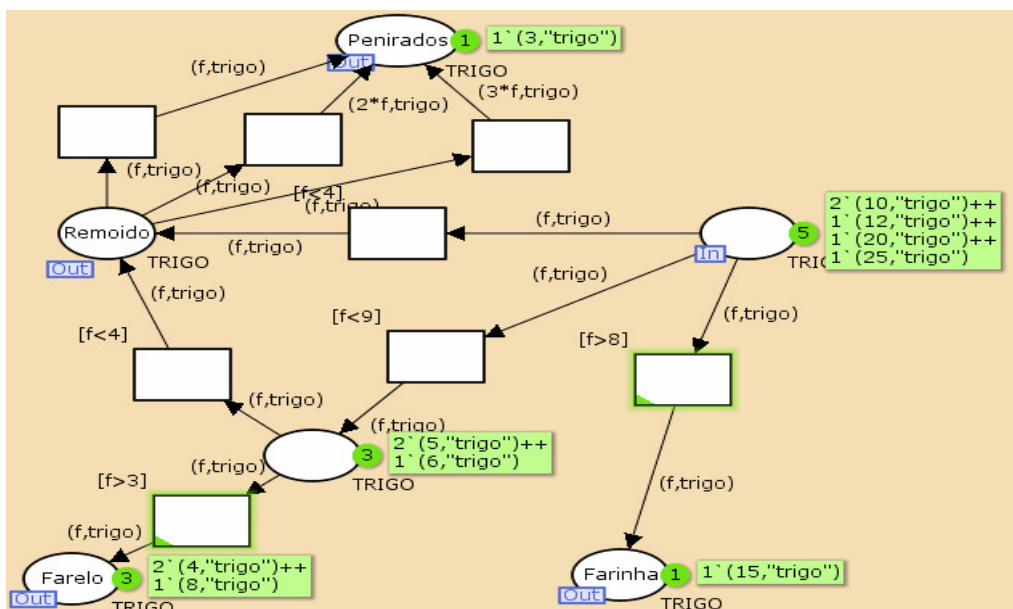


Figura 10 - modelo de sassor

Os lugares modelam o fluxo de produto de cada passagem. Os fluxos são medidos em percentual do fluxo de T1 mostrados em 11. Desta forma, T1 possui marcação 100%. As transições, por sua vez, modelam a separação de produtos através dos *plansichters*, rolos de cilindros e sassores. As equações presentes nas transições hierárquicas foram determinadas de forma que as passagens apresentem fluxos próximos aos sugeridos pelo diagrama de princípio. Isto se assemelha ao ajuste efetuado bancos de cilindros e escolha da abertura das telas dos *Plansichters* por parte do responsável pela produção em um moinho industrial, ou seja, o moleiro, permitindo-se, ao modificar estas equações, simular situações de ajustes no modelo e a repercussão destas mudanças no equilíbrio e rendimento do moinho. A figura 12 mostra o funcionamento da rede após 50 disparos.

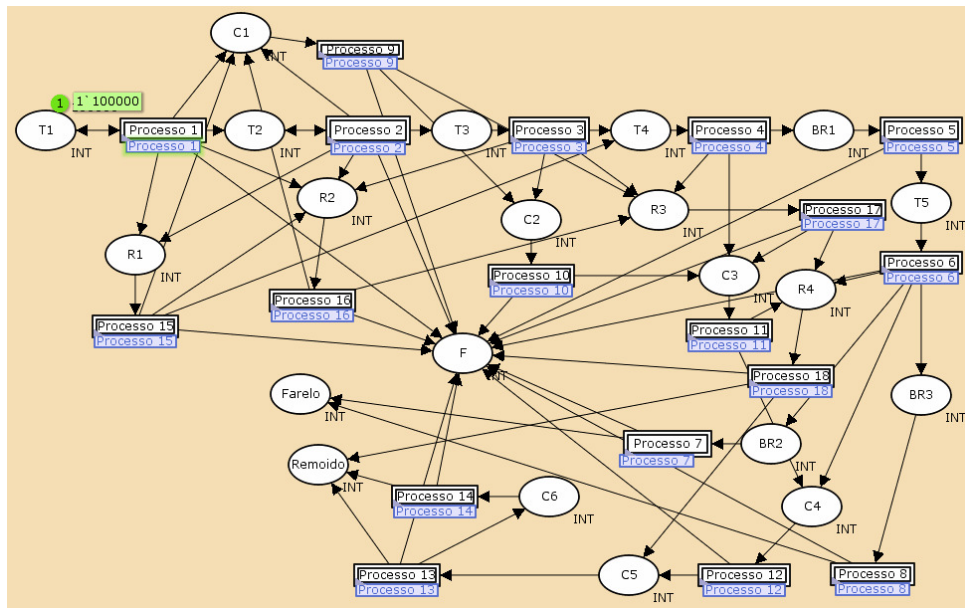


Figura 11 - Segundo modelo do moinho

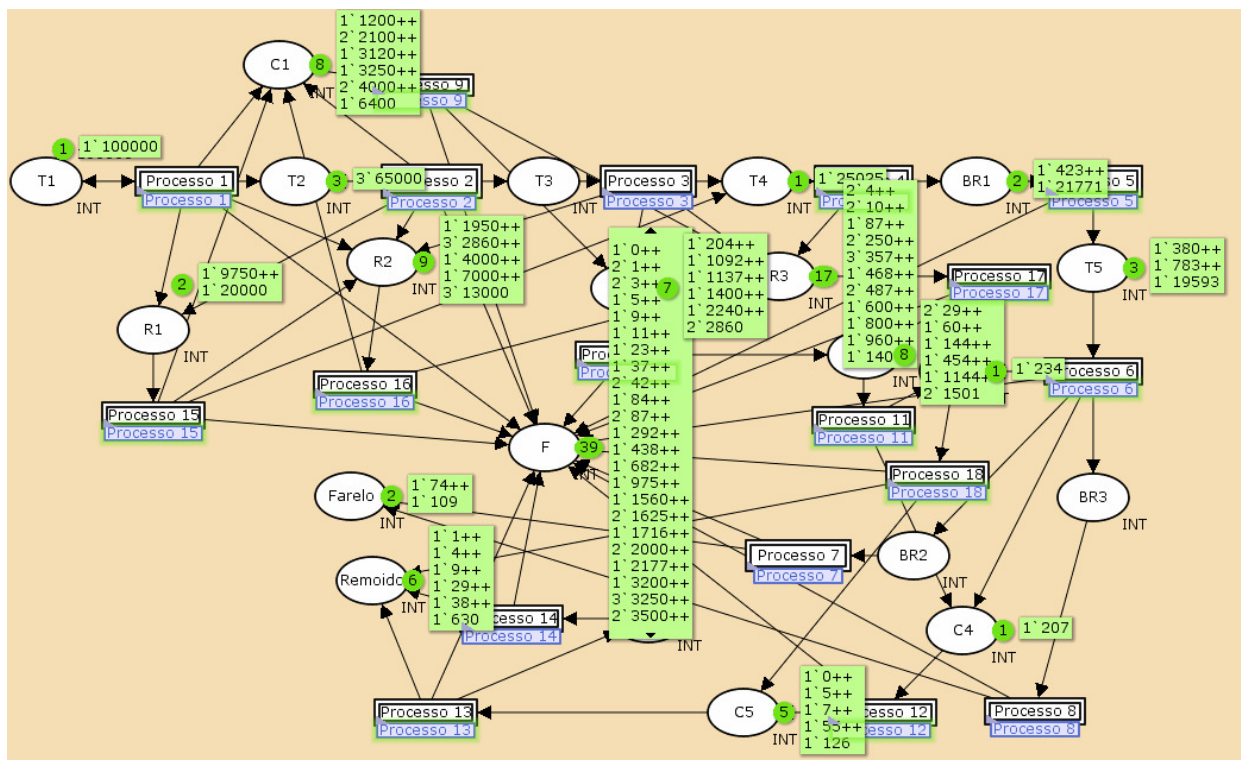


Figura 12 - rede após 50 disparos aleatórios

5. COLCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após estudo do processo de moagem do trigo e seu maquinário, foi modelado vários sistemas para visualização discreta do funcionamento da indústria de beneficiamento de trigo em todos os seus processos iniciando da primeira limpeza até o ensacamento. Continuando com a modelagem do funcionamento das principais máquinas responsáveis pelo processo. Finalizando com o modelo híbrido do moinho. O modelo permite a simulação de situações no moinho de forma a pesquisar, de modo mais ágil e prático, soluções de problemas no processo de moagem, inclusive situações com consequências em cadeia.

A principal contribuição do trabalho é comprovar o potencial de emprego de redes de Petri coloridas na simulação, monitoramento, manutenção, operação e controle supervisorio em moinhos de trigo. Dada a

semelhança deste processo com outros processos da indústria alimentícia, como moinho de milho e produção de açúcar a partir de cana, entre outros, este trabalho pode ser adaptado para outras indústrias.

Com a utilização da Dinâmica de Sistemas, este trabalho teve por objetivo iniciar a descrição qualitativa de um modelo que descreve o processo decisório existente na cadeia de trigo de uma cooperativa agroindustrial. Para isto, foi utilizado como método o estudo de caso, um moinho de trigo. A modelagem do moinho principalmente na parte de Banco de Cilindros e *Plansichter*, máquinas essas que possuem funcionamento complexo e são peças chave no processo de moagem, foram melhoradas por funções matemáticas elaboradas. Mas como trabalho futuro, por meio de acompanhamento dos equipamentos e seus dados lidos, se podem obter maiores aproximações do modelo com o moinho real. Ainda nesse projeto a elaboração das funções que controlam o fluxo de trigo no moinho forma obtidas de um diagrama, o diagrama de princípio, que rege o funcionamento de uma indústria de beneficiamento de trigo. Logo como trabalho futuro os fluxos podem ser medidos em pontos críticos da passagem do trigo, como na saída dos *plansichters* onde ocorrem entupimentos e em algumas passagens que têm pequenas tampas retiradas para entrada de ar e melhor fluxo da farinha. Situações essas que os funcionários da indústria sabem de forma empírica, mas que não têm seu devido relato para favorecer a aproximação de modelos com a realidade.

A utilização de outras configurações com as redes de Petri, como as estendidas Ghenesys, devem ser elaboradas para o comparativo entre redes de alto nível e não apenas dar continuidade as redes híbridas. Pode ser feito comparativo com modelos de outras cooperativas industriais, como a de açúcar empregando tanto redes híbridas como outras pesquisadas em função do desenvolvimento de soluções para limitações inerentes de cada tipo de rede de Petri. Com algumas implementações o modelo pode ser utilizado como sistema de supervisão de um moinho. Nesse caso será necessário gerar modos de comunicação no programa de forma que possibilitem a comunicação com controladores lógicos programáveis (CLP) para o controle do maquinário. Auxiliando diretamente na automação do processo. A pesquisa da teoria do controle supervísório modular local deve ser estudada para aproveitamento nessa situação

Aumentar o alcance das redes como, por exemplo, os tempos de execução de cada evento, subsistema e do sistema flexível como um todo. Indicando esses dados em uma tabela. Porque a partir daqui se apresentam melhores contribuições, podendo ser indicados em número de kilogramas ou de sacas de trigo processadas num determinado espaço de tempo, avaliando este efeito com o modelo de programação de controle já existente no processo de moagem de trigo.

REFERÊNCIAS

JENSEN, K. **Coloured Petri nets: basic concepts, analysis methods and practical use** – Volume 1: basic concepts. Denmark: Springer-Verlag. 1992

BNOFÁCIO, A. L. **Verificação e síntese de sistemas híbridos**. 2000. 144p. Dissertação (mestrado em computação) – instituto de computação, Universidade Estadual de Campinas.

Help do CPNTools. Disponível em: <http://wiki.daimi.au.dk/cpn-tools-help> . Acesso em 12 de Maio 2008.

ALBUQUERQUE, P. U. B. **Notas de aula de Sistemas de supervisão**. CEFETCE 2007

CERTREM.(2005) **Curso de Moleiros** CERTREM. Fortaleza.

WEHMANN, O. H. **Modelagem do processo de moagem de trigo utilizando redes de Petri contínuas**. 2007. 73p. Monografia (tecnologia mecatrônica) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará.

IDUGEL. Catálogo de equipamentos Idugel disponível em: <http://www.idugel.com.br/catalogo/equipamentos> . Acesso em 22 de Julho de 2008.

SOUSA, J. R. de B. **Verificação de propriedades de sistemas híbridos modelados com redes de Petri**. 2005. 142p. Projeto e pesquisa de doutorado (Engenharia elétrica) – Campus de Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande.