

Simulação por Redes de Petri da Automação do Sistema Misturador Planetário para Propelentes Sólidos

Francisco Carlos Parquet
Bizarria^{1,2}

bizarria@cpb@iae.cta.br

José Walter Parquet
Bizarria²

jwpbiz@gmail.com

Alexandre Pereira
Rangel¹

rangel.a@iae.cta.br

João Maurício Rosário³

rosario@fem.unicamp.br

1 Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), Divisão de Eletrônica (AEL) – São José dos Campos, SP, Brasil

2 Universidade de Taubaté (UNITAU), Departamento de Engenharia Mecânica - Taubaté, SP, Brasil

3 Universidade de Campinas (UNICAMP), Departamento de Projeto Mecânico - Campinas, SP, Brasil

RESUMO

No atual processo de fabricação dos motores utilizados nos foguetes desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço é empregado o Sistema Misturador Planetário para homogeneizar a mistura das matérias-primas formadoras do propelente sólido. Essa homogeneização é realizada sob condições controladas de temperatura e pressão. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo para simular a arquitetura de automação adotada para controlar as principais operações do sistema misturador, por meio das Redes de Petri. Foram realizadas simulações nesse modelo, com a meta de identificar as propriedades das Redes de Petri. Os resultados obtidos nessas simulações mostram que o modelo proposto é capaz de representar os principais estados de operação dessa arquitetura e em função disso são sugeridas alterações que priorizam a segurança e eficiência na utilização do sistema.

Palavras-Chave: Redes de Petri; Misturador Planetário; Propelente Sólido.

1. INTRODUÇÃO

No atual processo de fabricação dos motores utilizados nos Foguetes de Sondagem e no Veículo Lançador de Satélites (VLS) que são desenvolvidos pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) é empregado o Sistema Misturador Planetário para homogeneizar a mistura das matérias-primas formadoras do propelente sólido. Essa homogeneização é realizada sob condições controladas de temperatura e pressão na Caçamba que pertence ao conjunto mecânico do Sistema Misturador Planetário, conforme apresentado na Figura 1.

A Caçamba é especialmente projetada para permitir que um subsistema efetue a circulação contínua de água entre as suas paredes internas para manter a mistura das matérias-primas dentro de uma faixa preestabelecida de temperatura, a qual está relacionada com as características do propelente a ser processado.

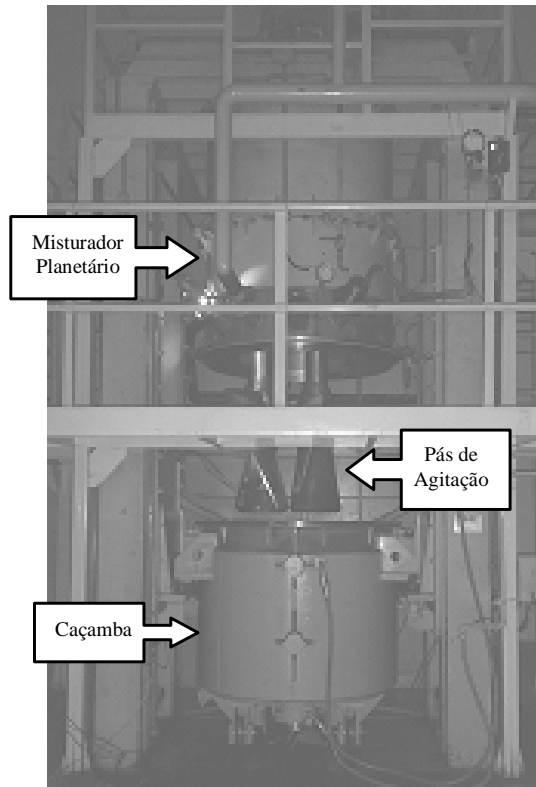


Figura 1: Vista do Sistema Misturador Planetário.

Além dos elementos mostrados na Figura 1, está previsto no Sistema Misturador Planetário: o Pressostato, a Unidade Hidráulica, a Válvula de Controle de Velocidade e o Motor Hidráulico, conforme apresentado no diagrama analítico da Figura 2.

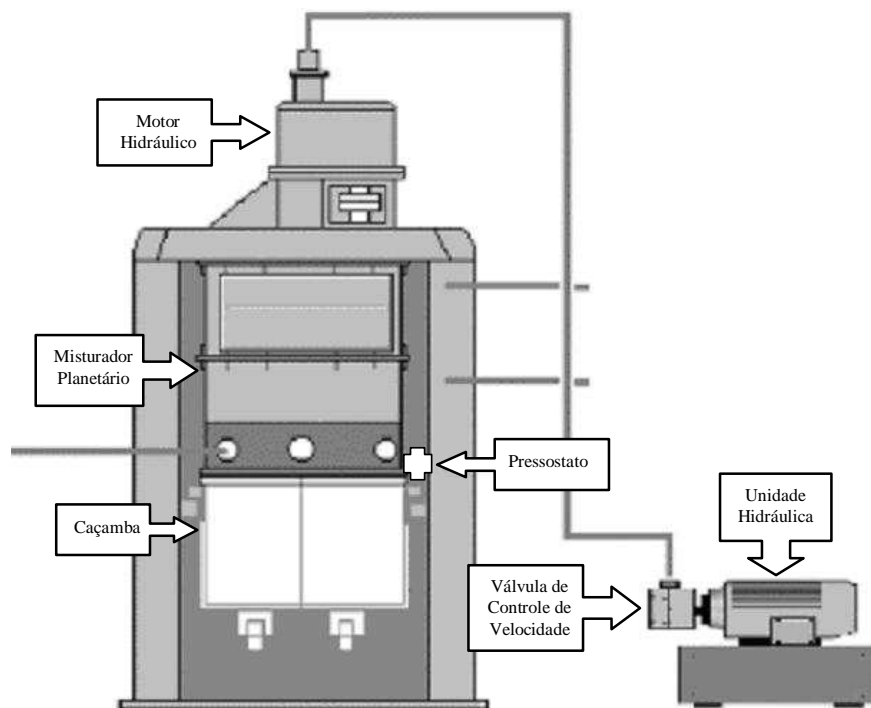


Figura 2: Diagrama do Sistema Misturador Planetário.

A Unidade Hidráulica efetua a pressurização do fluido que é utilizado para acionar o Motor Hidráulico instalado na parte superior do Misturador Planetário. A Válvula de Controle de Velocidade estabelece de forma gradativa a vazão na linha hidráulica para evitar que as Pás de Agitação, durante a iniciação da rotação, provoquem movimentos bruscos na mistura das matérias-primas do propelente. A condição de acoplamento entre a Caçamba e o Misturador Planetário é sinalizada pelo Sensor de Pressão (Pressostato).

Na operação do Sistema Misturador Planetário são executadas várias seqüências de atuações que devem atender os requisitos de funcionalidade e segurança compatíveis com aplicação em questão. A arquitetura adotada para efetuar o gerenciamento dessas seqüências é apresentada na Figura 3.

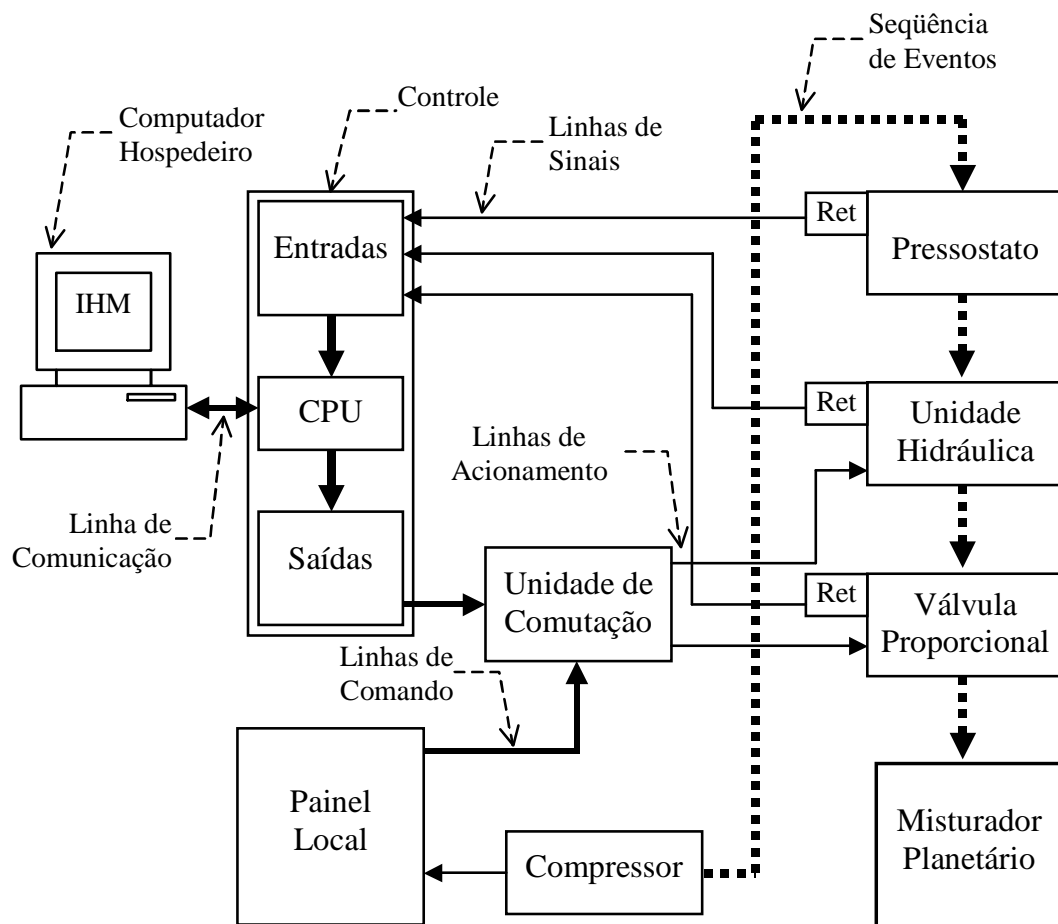


Figura 3: Arquitetura de automação.

A função do bloco denominado por Controle pode ser desempenhada por Controlador Lógico Programável (CLP) capaz de operar com entradas e saídas, digitais e/ou analógicas, que atendem vasta faixa de amplitudes e frequências de sinais elétricos (MIYAGI, 1996). Nesse controlador está prevista a instalação de um programa que efetuará o gerenciamento das atividades da arquitetura proposta (ROSÁRIO, 2005) em função das características físicas exigidas pelo propelente processado.

As saídas do Controle estão conectadas diretamente na Unidade de Comutação para permitir a escolha do modo de operação desejado para o processo, ou seja, de forma remota ou local. A operação do processo deve ser prioritariamente realizada de forma remota para privilegiar a segurança física dos operadores do sistema. O Painel Local é a interface que

permite o acionamento dos equipamentos no local do processo, entretanto, esse recurso somente deve ser utilizado na hipótese de ocorrer pane em equipamento durante a realização do processo remoto ou para executar a manutenção e/ou os testes.

Os sinais de retornos (Ret) são linhas que informam os estados operacionais dos equipamentos envolvidos com o processo, ou seja, se esses estão ativados ou não. Essas linhas estão ligadas nas entradas do módulo de Controle para permitir que o programa de gerenciamento obtenha realimentação sobre a evolução da operação de cada equipamento e possa comparar com o algoritmo previsto para o processo.

Na Interface Homem-Máquina (IHM) (SILVEIRA, 2002) instalada no Computador Hospedeiro, está prevista uma função específica para o supervisor do sistema iniciar as seqüências de operações desejadas, em conformidade com os parâmetros definidos para cada processo, além de proporcionar o acionamento dos equipamentos de forma automática ou individual. Quando ativado de forma automática a seqüência de acionamento obedece aos parâmetros definidos para cada processo, respeitando as precedências hierárquicas de operação. O acionamento individual é utilizado na realização de manutenção e/ou de verificações de funcionamento, sendo que esse último é previamente efetuado antes da execução do processo contínuo de operação do sistema. Essa interface realiza a comunicação com o Controlador Lógico Programável (CLP) por meio físico dedicado e adequado para esse fim.

Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta de modelo para simular a arquitetura de automação que foi adotada para efetuar o comando, a supervisão e o controle das principais operações do Sistema Misturador Planetário, por meio das Redes de Petri (CARDOSO & VALETTE, 1997).

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal objetivo propor modelo, por meio das Redes de Petri, para simular a arquitetura de automação do Sistema Misturador Planetário que é utilizado no processo de fabricação de propelentes sólidos e, apresentar os resultados obtidos nas simulações efetuadas com esse modelo no âmbito dos conflitos do tipo confusão e mortal.

3. MODELO DO SISTEMA

No modelo proposto na Figura 4 estão representados os principais estados que podem ser alcançados pelo Sistema Misturador Planetário que é utilizado no processo de fabricação de propelentes sólidos, por meio das Redes de Petri. Na construção dessas redes foi utilizado procedimento de agrupamento (DE MORAES & CASTRUCCI, 2001) e considerado os componentes previstos na arquitetura apresentada na Figura 3.

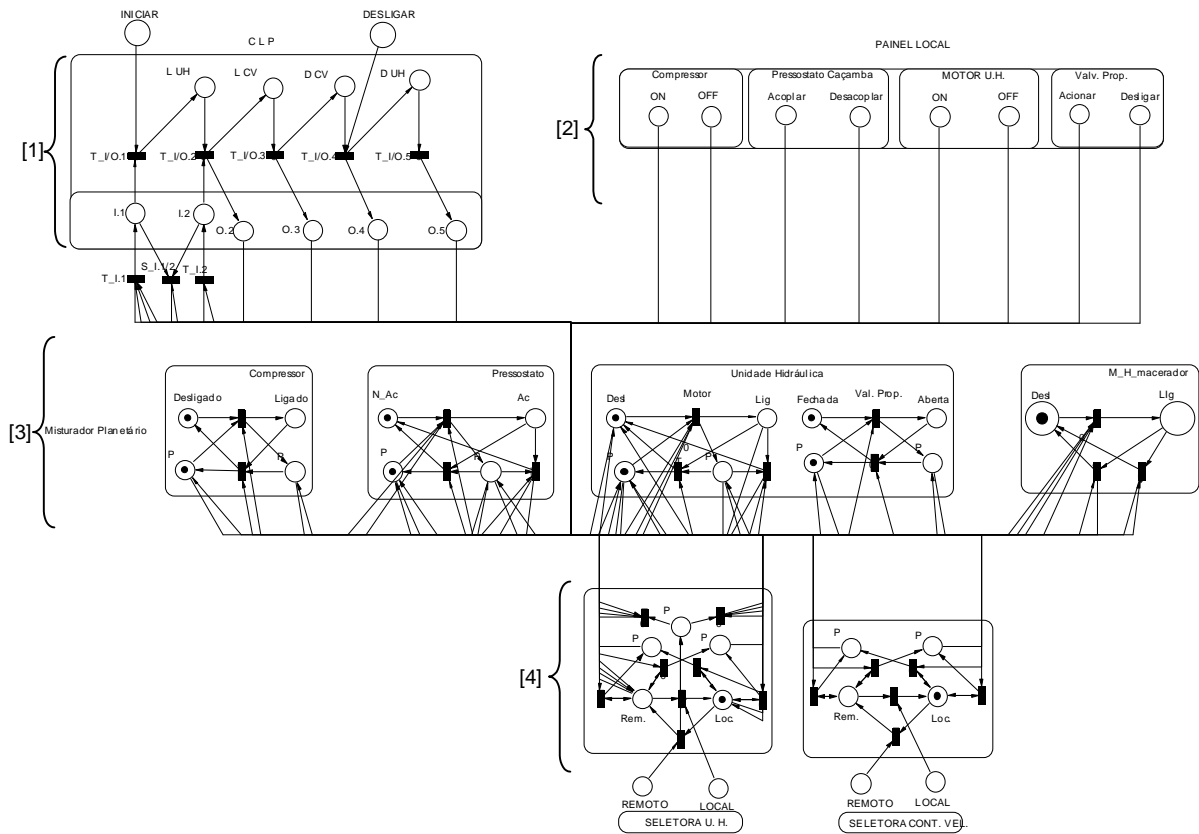


Figura 4: Modelos em Redes de Petri do Sistema Misturador.

O modelo da Figura 4 mostra de maneira distinta as Redes de Petri de baixo nível que foram elaboradas para representar: [1] Controlador Lógico Programável, [2] Painel Local, [3] Compressor, Pressostato, Unidade Hidráulica e Motor Hidráulico e [4] Seletoras para comutação de operação Remoto ou Local. Essa maneira de realizar a modelagem tem como principal objetivo permitir a observação do comportamento operacional de cada parte envolvida no processo, durante a simulação do programa de gerenciamento do sistema.

A distribuição de posições, transições, arcos e quantidade de fichas, mostrada na Figura 4, tem por meta estabelecer a condição inicial de operação do Sistema Misturador Planetário. Os possíveis estados operacionais que podem ser alcançados pelos atuadores e sensores desse sistema, durante a execução do programa de gerenciamento da seqüência de operações, são representados por posições distintas.

Uma ampliação dos elementos previstos para as Redes de Petri que retratam o Controlador Lógico Programável (CLP), pertencente à mencionada arquitetura, é apresentada na Figura 5. No modelo do CLP estão previstas posições específicas para representar as entradas (I.1 e I.2) e saídas (O.2, O.3, O.4 e O.5) que efetuam as conexões com os modelos do Compressor, Pressostato, Unidade Hidráulica, Motor Hidráulico e das Seletoras para comutação de operação Remoto ou Local.

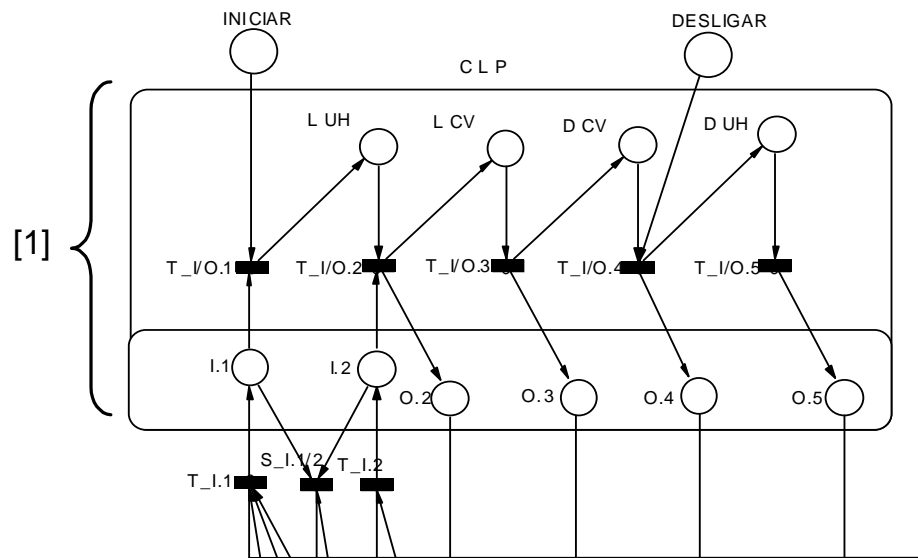


Figura 5: Modelo em Redes de Petri do CLP.

Os arcos, as posições, as transições e as fichas contidas no modelo elaborado para o Controlador Lógico Programável (CLP) estão organizados de modo que a rede seja capaz de representar estados relacionados com a iniciação (INICIAR), operação e desligamento (DESLIGAR) do Sistema Misturador Planetário. A operação atende os passos previstos no fluxograma analítico que representa uma seqüência típica de ações realizadas pelo programa que efetua o gerenciamento da arquitetura, o qual é apresentado na Figura 6.

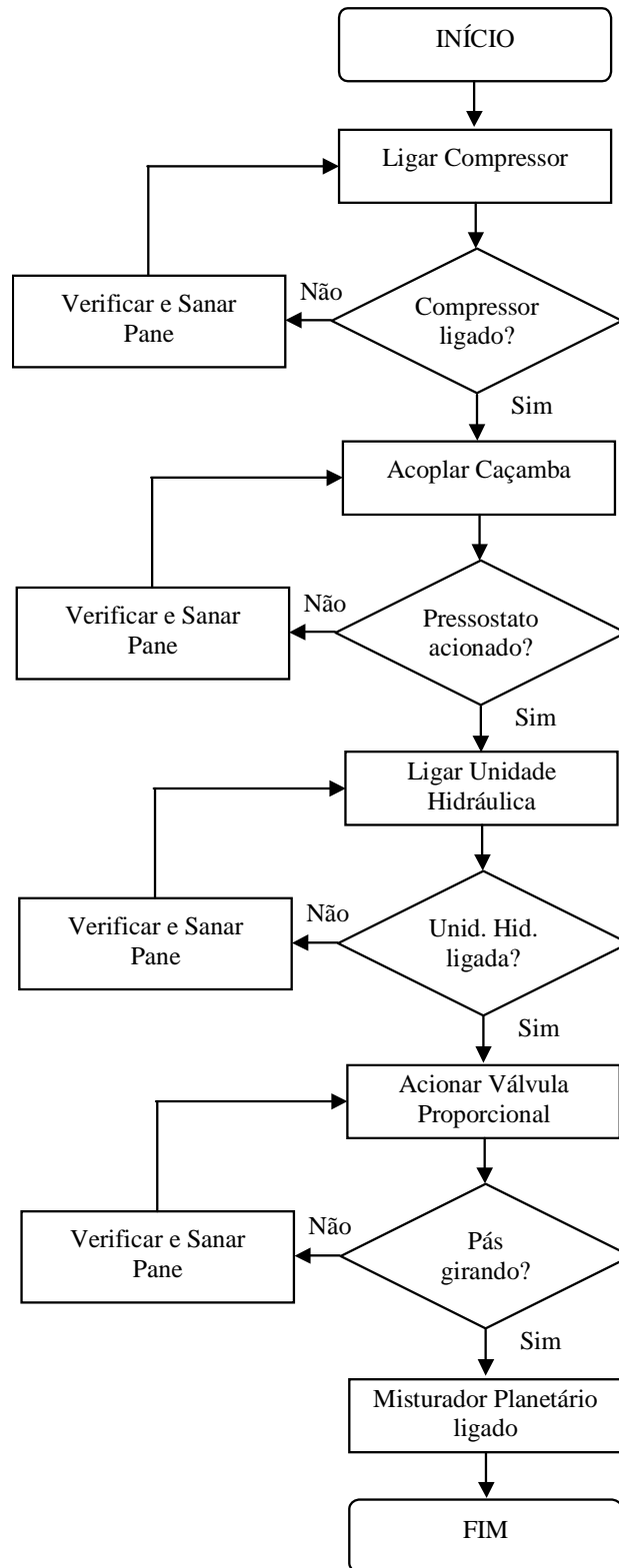


Figura 6: Fluxograma analítico de gerenciamento.

Na execução da seqüência de passos do fluxograma é habilitada a mudança de estado dos modelos elaborados para os atuadores previstos no Sistema Misturador Planetário. Como consequência dessa habilitação, os modelos desses atuadores mudam de estado definindo a operação das Pás de Agitação que executam a homogeneização das matérias-primas do processo.

A operação do Sistema Misturador Planetário pode ser realizada de dois modos. No primeiro modo, o qual é denominado REMOTO, o acionamento do Compressor, do Pressostato e da Unidade Hidráulica, em função da operação desejada para o sistema, é realizado de forma automática e a distância pelo Controlador Lógico Programável (CLP). Esse modo de operação é utilizado em condições normais de funcionamento do sistema, com o propósito de privilegiar a segurança de todos os funcionários durante a realização do processo. No segundo, denominado LOCAL, o acionamento dos equipamentos pertencentes ao Sistema Misturador Planetário é efetuado de forma manual pelo corpo técnico, o qual aplica comandos diretamente no PAINEL LOCAL de acionamento. Esse modo de operação é utilizado na hipótese de ocorrer não-conformidades na operação do CLP, dos equipamentos ou para efetuar a manutenção desse sistema. A Figura 7 mostra as Redes de Petri elaboradas para representar as chaves seletoras que efetuam a comutação de operação remota para local ou vice-versa.

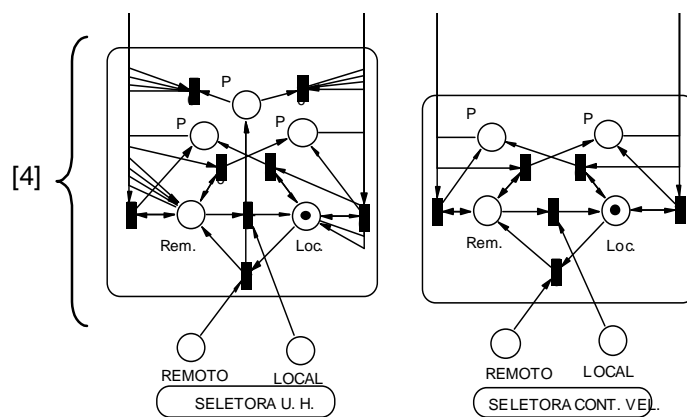


Figura 7: Modelo da comutadora.

Os principais estados alcançados pelos equipamentos previstos na planta do Sistema Misturador Planetário estão representados nas Redes de Petri da Figura 8. Nessa figura o Compressor pode alcançar o estado ligado (Ligado) ou desligado (Desligado), o Pressostato pode alcançar o estado acionado (Ac) ou não acionado (N_Ac), o motor da Unidade Hidráulica pode alcançar o estado ligado (Ligado) ou desligado (Desligado) e a válvula proporcional da Unidade Hidráulica pode alcançar o estado aberta (Aberta) ou fechada (Fechada). Em função da seqüência de acionamento estabelecida para operação desses equipamentos, pode ser definido o estado ligado (Ligado) ou desligado (Desligado) para o Misturador Planetário efetuar a homogeneização das matérias-primas depositadas na sua Caçamba.

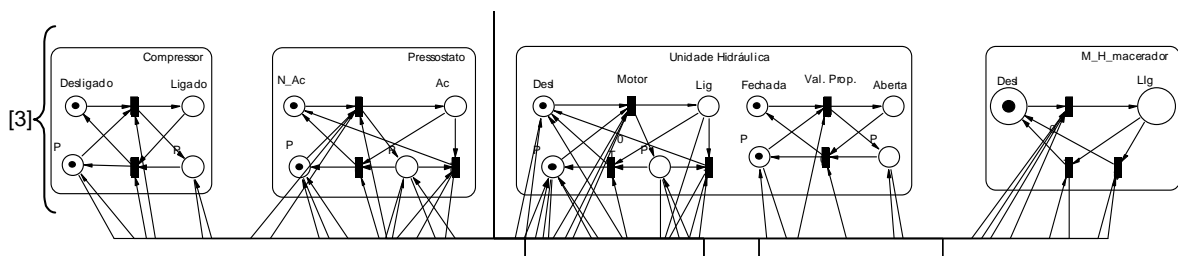


Figura 8: Modelo dos equipamentos de homogeneização.

As Redes de Petri que representam o PAINEL LOCAL que é utilizado pelo corpo técnico para efetuar os acionamentos locais dos equipamentos do Sistema Misturador Planetário é apresentada na Figura 9.

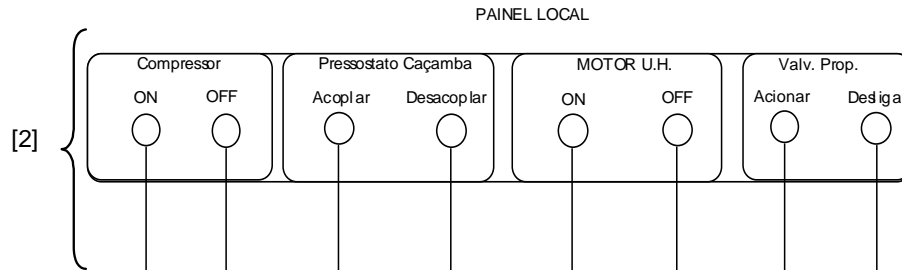


Figura 9: Modelo do painel local.

Nessas redes, o acionamento manual do Compressor, Pressostato, Motor da Unidade Hidráulica e Válvula Proporcional da Unidade Hidráulica é determinado com a habilitação da posição denominada por ON e Acoplar, sendo que o desligamento é efetuado por meio da posição OFF e Desacoplar. Cabe mencionar que essa habilitação deve ocorrer de maneira hierárquica e seqüencial para evitar a ocorrência de não-conformidades.

4. SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE PROPRIEDADES

A simulação computacional do modelo proposto neste trabalho para o Sistema Misturador Planetário, por meio das Redes de Petri, foi realizada explorando todos os estados previstos nas redes, incluindo aqueles contidos no fluxograma analítico apresentado na Figura 6, com a utilização do *software* Visual Object Net, (VISUAL OBJECT NET, 2006).

O conflito do tipo confusão pode ser identificado, por exemplo, quando existir uma única ficha dentro de uma posição e essa possuir duas saídas para transições distintas e habilitadas, ou seja, quando isso ocorrer o sistema de controle pode tomar decisão de trajetória inadequada e essa ação poderá promover seqüência indesejada de operações. Nesse contexto, durante a realização das simulações previstas neste trabalho foram observados conflitos do tipo confusão. Esses foram solucionados com a inserção de restrições nas habilitações das transições envolvidas com o mencionado conflito.

O conflito do tipo mortal pode ser identificado quando ocorrer travamento do sistema, ou seja, a execução é paralisada interrompendo a seqüência desejada de operação. O conflito do tipo mortal não foi observado nas simulações realizadas com modelo apresentado na Figura 4.

A vivacidade é a propriedade que informa se há posições não atingidas ou transições não disparadas durante as execuções das redes. Na simulação do modelo apresentado na Figura 4 todas as posições e transições foram respectivamente atingidas e disparadas.

A conservação é a propriedade na qual é considerado se a soma total das fichas permanece constante na execução da rede, nesse caso a mesma é dita conservativa. Na simulação do modelo apresentado na Figura 4 as quantidades de fichas não permaneceram constantes na execução da rede, entretanto, essa situação não provocou excesso ou falta de fichas em posições que pudessem comprometer a execução do algoritmo de controle do sistema.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A forma adotada para efetuar a modelagem do sistema, utilizando as Redes de Petri, foi capaz de explicitar detalhadamente a operação do Controlador Lógico Programável, do Painel Local, do Compressor, do Pressostato, da Unidade Hidráulica, das Seletoras para comutação de operação em modo Remoto ou Local e das fases previstas no programa de gerenciamento de operação, os quais são elementos previstos na arquitetura do Sistema Misturador Planetário. Essa característica permitiu a realização de análise operacional individualizada de cada parte que constitui a arquitetura do sistema, o que facilita a identificação e o saneamento de possíveis não-conformidades que venham acometer o mesmo.

Das propriedades avaliadas na rede modelada, somente o conflito do tipo confusão foi identificado na simulação do sistema com potencial de causar não-conformidades, sendo que a solução para o mesmo foi obtida com a inserção de restrições nas habilitações das transições envolvidas com o mencionado conflito.

6. REFERÊNCIAS

- CARDOSO, J. & VALETTE, R.** Redes de Petri. Editora da UFSC, Santa Catarina, Brasil, 1997.
- DE MORAES, C. C. & CASTRUCCI, P. L.** Engenharia de Automação Industrial. Editora LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 2001.
- MIYAGI, P. E.** Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brasil, 1996.
- ROSÁRIO, J. M.** Princípios de Mecatrônica. Editora Person Prentice Hall, São Paulo, Brasil, 2005.
- SILVEIRA, P. R.** Automação e Controle Discreto. 4ª Edição - Érica, São Paulo, Brasil, 2002.
- VISUAL OBJECT NET.** Disponível em: <http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~drath/visual_E.htm>. Acesso em 10/04/2006.