

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Julio Gonzalez Villelia
Thiago Pappalardo

nota final
8,00 (ok)
HBM

Modelagem e Tratamento de Falhas em Máquinas Industriais

São Paulo
2005

Julio Gonzalez Villelia

Thiago Pappalardo

Modelagem e Tratamento de Falhas em Máquinas Industriais

Monografia apresentada ao
Departamento de Engenharia
Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos da
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo relacionada à disciplina
PMR2550 – Projeto de Conclusão de
Curso II

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

São Paulo

2005

Sumário

Resumo.....	5
1. Introdução	6
1.1 Motivação e Justificativa	6
1.2 Objetivo.....	7
2. Conceitos Básicos	8
2.1 Falhas, Erros e Defeitos.....	8
2.1.1 Levantamento de Falhas	10
2.2 Modelagem	11
2.3 Simulação	11
2.4 Redes de Petri	13
2.4.1 Conceitos e variações da RdP.....	13
2.4.2 Redes de Petri Procedurais	14
2.4.3 Redes de Petri Auto-Modificáveis.....	15
2.4.4 PFS/MFG	16
2.5 Síntese dos Conceitos	16
3. Método para Modelagem de Máquinas.....	17
3.1 Identificação dos Dispositivos de Controle	18
3.2 Definição das Funções de Controle	19
3.3 Modelagem das Funções de Controle.....	19
3.4 Levantamento das Falhas.....	20
3.5 Classificação das Falhas	20
3.6 Modelagem do Tratamento das Falhas.....	21
3.7 Modelagem do Processo de Identificação das Falhas	23
3.8 Integração das Redes	25
4. Exemplo de Aplicação: Bobinadeira	28
4.1 Seqüência de Operação	31
4.2 Aspectos de Segurança	33
4.3 Defeitos em Bobinadeiras	34
4.4 Aplicação do Método de Modelagem para as Bobinadeiras.....	34
4.4.1 Identificação dos Dispositivos de Controle	34
4.4.2 Definição das Funções de Controle.....	35
4.4.3 Modelagem das Funções de Controle	37
4.4.4 Levantamento das Falhas	39

4.4.5 Classificação das Falhas.....	40
4.4.6 Modelagem do Tratamento das Falhas	40
4.4.7 Modelagem do Processo de Identificação das Falhas	43
4.4.8 Integração das Redes	46
5. Conclusões	47
Bibliografia	48
Anexo 1 – RdP Procedural (RdPP)	49
Anexo 2 – Circuito Eletropneumático	52
Anexo 3 – Planilha dos Principais Defeitos	55

Lista de Figuras

Figura 1 – Exemplo de falha, erros e possíveis defeitos em uma máquina	9
Figura 2 – Mudanças de visão da ocorrência de falhas em equipamentos	9
Figura 3 – Procedimento para simulação	13
Figura 4 – Ciclo de prototipagem de software	17
Figura 5 – Sistema de controle da máquina	18
Figura 6 – Diagrama estrutural das funções	19
Figura 7 – PFS no nível macro das funções de controle	20
Figura 8 – Esquema de recuperação pelo método da entrada condicionada	21
Figura 9 – Esquema de recuperação pelo método da rota alternativa	22
Figura 10 – Esquema de recuperação de falhas backward	22
Figura 11 – Esquema de recuperação de falhas “Forward”	22
Figura 12 – Estrutura de integração dos modelos numa RdPD	26
Figura 13 – Solução de conflitos utilizando arcos-SM	26
Figura 15 – Esquema de funcionamento das máquinas	28
Figura 16 – Bobinadeira na bancada de testes da oficina	29
Figura 17 – Outro ângulo da bobinadeira	30
Figura 18 – Bobinadeiras em funcionamento	31
Figura 19 – Gráfico de defeitos em bobinadeiras	34
Figura 20 – Estruturação das funções da bobinadeira	36
Figura 21 – PFS/MFG da bobinadeira (Nível 1 do diagrama da Figura 20)	37
Figura 22 – Atividade [lançamento]	37
Figura 23 – Atividade [enrolamento]	38
Figura 24 – Atividade [retirada]	39
Figura 25 – Aplicação da recuperação de falhas foward	40
Figura 26 – Aplicação da recuperação de falhas “backward”	41
Figura 27 – Atividade [tratamento A1]	41
Figura 28 – Atividade [tratamento A2]	42
Figura 29 – Atividade [tratamento B]	43
Figura 30 – Malha de diagnóstico das falhas	45
Figura 31 - Equivalência entre as TRANSIÇÕES T_{OR} e T_n	49
Figura 32 - Regras de disparo inverso na RdPP	51

Resumo

Dentro de uma instalação industrial a ocorrência de falhas afeta diretamente, e negativamente, o custo do produto final, além de em geral envolver perigo aos operadores e prejuízos ao patrimônio e/ou meio-ambiente, tornando-se, assim, um problema que deve ser evitado ao máximo. Entretanto, a ocorrência de falhas em máquinas é um problema que não pode ser totalmente eliminado por ser intrínseco de qualquer processo industrial. Apesar disto, a maioria dos estudos relacionados às máquinas, considera apenas a especificação e a sua otimização nos processos industriais em condições normais de operação.

Neste contexto, este trabalho trata de técnicas de modelagem e análise da ocorrência e do tratamento de falhas em máquinas industriais. Para a modelagem consideram-se os conceitos de sistemas a eventos discretos e de rede de Petri. A modelagem adota uma abordagem que estrutura a máquina em três partes, isto é: (1) o módulo do processo produtivo; (2) o módulo da detecção das falhas; (3) o módulo do tratamento das falhas detectadas.

O estudo envolve diferentes aspectos do sistema de controle das máquinas e assim, além das técnicas analíticas, as ferramentas de simulação também são utilizadas. Como exemplo de aplicação, considera-se uma bobinadeira, isto é, uma máquina que realiza processos de pré-estiragem e o enrolamento, utilizada em processos de fiação de fios de *nylon* de vários tipos.

1. Introdução

1.1 Motivação e Justificativa

O aumento de produtividade e a necessidade de controle de qualidade da manufatura envolvem a automação de tarefas e integração com técnicas como CAD (Computer Aided Design) e CAM (Computer Aided Manufacturing). No entanto eventos como a manutenção corretiva de falhas não podem ser tratados de forma completamente automática. Em geral, a supervisão por operadores é necessária, pois estes possuem conhecimento, experiência e habilidades para trabalhar com situações inesperadas que, normalmente, são difíceis de estruturar ou reproduzir. Além disso, quanto maior a automatização da máquina, maior é o custo da máquina, e uma combinação apropriada entre automatização e supervisão humana mostra-se muito mais efetiva para a operação de sistemas de manufatura, em especial, quando se consideram características como tolerância às falhas. [1]

Falhas são elementos inerentes aos processos industriais mesmo com os avanços da tecnologia. Elas podem ter origem tanto de fontes internas (componentes da máquina que não estão de acordo com sua especificação, desgaste, dentre outros) e fontes externas (erro humano, matéria-prima fora das especificações, etc.). Estas falhas, quando começam a afetar negativamente no processo, causam prejuízos, já que além do custo de manutenção das máquinas há o custo dos bens em não conformidade, produzidas pela máquina em estado de falha, tornando a indústria menos competitiva em relação às suas concorrentes. [1][2]

A necessidade de uma ferramenta que auxilie projetistas e engenheiros a entender o equipamento, que torne possível a detecção de possíveis falhas e que ajudem a encontrar soluções para estas falhas, motiva o desenvolvimento de um método que considere, além da máquina operando em condições normais, a detecção e tratamento de falhas para aumentar a sua flexibilidade e autonomia.

Para que seja possível a detecção e prevenção dessas falhas, as técnicas que têm sido consideradas por profissionais e especialistas da área são baseadas na utilização de modelos, que é uma forma de representar as características relevantes da máquina e/ou dos processos envolvidos. Geralmente o modelo é utilizado para análise, caracterização, avaliação, etc. do sistema ou equipamento. Deve-se lembrar que este modelo não demonstra a realidade de modo completo, por este motivo deve-se tomar cuidado com a

maneira em que é modelado o sistema ou máquina. Apesar desse problema, se o objeto de estudo for detalhado de modo criterioso, a chance de obter dados coerentes é maior. [3]

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver a modelagem e análise de uma máquina industrial considerando-se a ocorrência e o tratamento de falhas.

O estudo da análise de falhas no presente caso é conduzido em uma bobinadeira que tem relevância dentro do processo industrial têxtil, pois apresenta, na prática, dados coletados numa planta em operação que indicam que ela é muito suscetível à falhas. Através do estudo de um modelo que identifica falhas pela verificação dos sinais de saída da bobinadeira e do sensoriamento de suas atividades, o processo de manutenção tornar-se-á mais eficaz. Isto é, implantando-se um procedimento que previna a falha, é possível adotar uma política de manutenção preventiva que contribui para reduzir os custos de manutenção.

2. Conceitos Básicos

Por se tratar de um trabalho que envolve detecção e tratamento de falhas, devem-se definir os conceitos de falha, erro e defeito. Da mesma forma, não se pode desconsiderar os conceitos de modelagem, simulação e rede de Petri, que formam a base deste estudo.

2.1 Falhas, Erros e Defeitos

Falhas, erros e defeitos (envolvendo máquinas e operadores) sempre podem ocorrer na etapa de uma operação de um sistema real de manufatura independente do grau de automatização implementado. Para sistemas com diferentes graus de automação, as falhas apresentadas serão, também, de diferentes formas [4].

É necessário diferenciar os conceitos de falha, erro e defeito para realizar a modelagem e o tratamento de falhas em máquinas industriais. Porém, tais conceitos não são totalmente claros, diferindo de uma fonte para outra na literatura (por exemplo [2], [5]). Por isso, e para que se tenham bases sólidas para o presente trabalho, adotam-se as definições como se segue.

Pode-se dizer que um “erro” é o desvio que ocorre no resultado de uma operação quando comparado com o resultado esperado, ou seja, quando o produto fabricado pela máquina industrial não apresenta precisamente as características inicialmente projetadas. Um “defeito”, por sua vez, é a mudança de uma operação correta para uma incorreta, o que significa que os produtos estão fora dos padrões aceitáveis. Já a “falha” é a causa hipotética do erro. Na maioria das vezes a falha causa o erro em um componente que é interno ao sistema, e esse erro pode, como consequência, acarretar ou não um defeito. É importante lembrar que um erro pode não influenciar na operação e conseqüentemente não causar o defeito, porém a falha sempre existe quando ocorre um erro vide (Figura 1) [5].

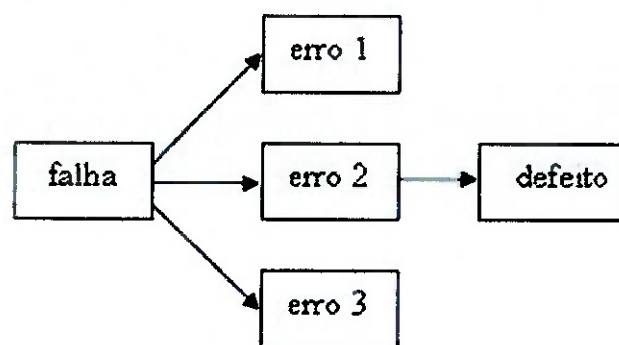


Figura 1 – Exemplo de falha, erros e possíveis defeitos em uma máquina

Muitas crenças básicas ligando o tempo de uso de um sistema à ocorrência de falhas estão sendo alteradas devido ao avanço das pesquisas [6]. A Figura 2, onde o eixo horizontal representa o tempo e o vertical, a probabilidade de ocorrência de falhas, mostra como a concepção mais antiga era simplesmente de que como as coisas envelheciam, elas tornavam-se mais suscetíveis à falhas. Uma crescente conscientização do fenômeno chamado de “mortalidade infantil” levou à crença generalizada da Segunda Geração na “curva da banheira”. Entretanto as pesquisas mais recentes revelaram seis padrões de falha que efetivamente ocorrem na prática. Uma das mais importantes conclusões que emerge é a crescente compreensão que uma grande maioria das tarefas de manutenção deve ser melhor estudada para que não atuem de forma contraproducente [6].

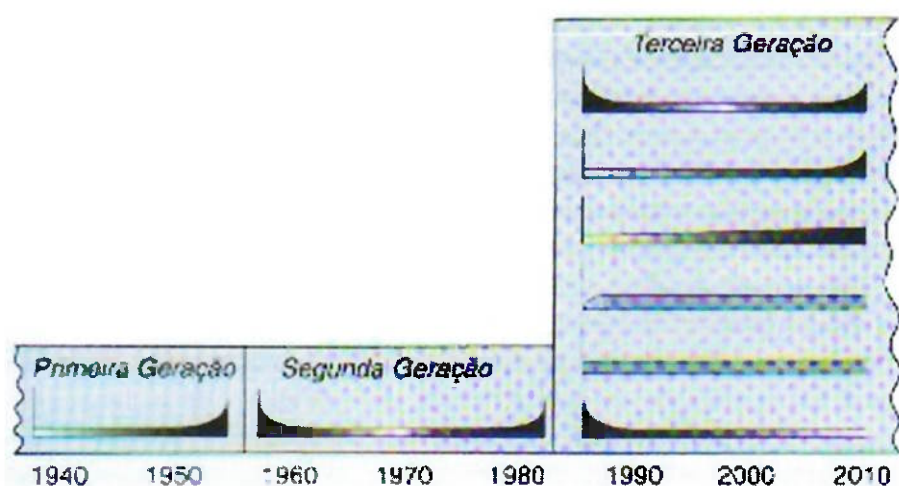


Figura 2 – Mudanças de visão da ocorrência de falhas em equipamentos

As *falhas* podem ser classificadas em oito tipos básicos: dentre eles o de origem e de ocorrência, que pode surgir durante o desenvolvimento ou durante a operação da

máquina. Os outros tipos podem ser encontrados em [5]. Já os *defeitos* são classificados quanto ao domínio, à detectabilidade, à consistência e quanto às consequências. Estas classificações visam organizar e facilitar o processo de detecção e tratamento de falhas e defeitos [5].

Neste trabalho só se consideram as *falhas de operação*, que são as falhas que ocorrem durante o processo de trabalho de uma máquina, descartando as *falhas de desenvolvimento*, que são aquelas geradas na criação e projeto da máquina, já que estas podem ser avaliadas a partir dos erros e conseqüentes defeitos resultantes. Também se utiliza em parte o conceito de *tolerância à falhas*, ou seja, algumas falhas são aceitáveis, porém deve-se monitorá-las através dos erros causados e possíveis defeitos que podem resultar destas falhas [5].

Alguns textos não levam em conta as diferenças entre falhas, erros e defeitos, considerando estes termos sinônimos e definidos genericamente como distúrbios que levam o equipamento a um comportamento indesejável ou intolerável. De qualquer modo, considera-se que para conseguir resultados mais eficientes, primeiramente deve-se evitar as falhas, isto é, de onde erros e defeitos se originam, mas também não se deve esquecer de eventuais dificuldades na detecção destas e assim pode-se tornar necessário a consideração de intervenções do homem nos equipamentos [1][3][4].

2.1.1 Levantamento de Falhas

Várias metodologias podem ser empregadas para se definir as falhas as quais a máquina esta vulnerável. Neste estudo utiliza-se uma metodologia chamada “Manutenção Centrada em Confiabilidade” (RCM). Esta ferramenta segue um processo usado para determinar sistematicamente e cientificamente o que deve ser feito para assegurar que os ativos físicos continuem a realizar as tarefas que os seus usuários querem que ele execute. A partir dela se levantam todos os possíveis defeitos do equipamento e os procedimentos de manutenção corretiva que da forma mais rápida possam fazê-lo voltar às condições de uso. Tendo em mãos estes defeitos, pode-se chegar às falhas que os geraram. [6]

A metodologia de RCM segue princípios de confiabilidade vistos na análise de modos e efeitos das falhas (FMEA), varrendo os componentes da máquina e definindo como eles podem falhar, quais os efeitos da falha, quão críticos são estes efeitos, como é

possível detectar as falhas e quais as medidas preventivas e corretivas contra estas falhas.

2.2 Modelagem

Um modelo de uma máquina industrial pode ser definido como a representação da máquina com o intuito de estudá-la. Para a maioria dos casos, é necessário somente considerar as características da máquina que afetam esse estudo. Estas características são representadas no modelo, e este, por definição, é uma simplificação do equipamento. Por outro lado, o modelo deve ser suficientemente detalhado para permitir conclusões válidas. Diferentes modelos de um mesmo equipamento podem ser necessários de acordo com o objetivo do estudo [7].

Modelos discretos e contínuos são definidos de acordo com as mesmas considerações que definem se um sistema é discreto ou contínuo. Contudo, um modelo discreto não é usado apenas para descrever um sistema discreto, nem um modelo contínuo é exclusivo para sistemas contínuos. Modelos são de fato muito úteis para análise em conjunto de fenômenos discretos e contínuos. A escolha de qual deles usar é função das características do sistema e do objetivo do estudo [7].

Maiores informações sobre outras classificações de modelos podem ser encontrados em [7].

2.3 Simulação

Simulação é, em geral, entendida como a “imitação” de uma operação ou de um processo. A simulação envolve a geração de uma “história artificial” de um sistema para a análise de suas características operacionais [7].

O comportamento de uma máquina pode ser estudado através de um modelo de simulação. Este modelo geralmente utiliza diversos parâmetros sobre a operação da máquina. Uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões, como mudanças, que podem ser simuladas a fim de prever seu impacto no desempenho do equipamento. A simulação pode também ser usada para o estudo de novas máquinas que estejam na fase de concepção, antes que sejam efetivamente implementadas. Assim, a simulação pode ser usada como uma ferramenta para prever os efeitos de uma mudança em equipamentos existentes e

também como uma ferramenta de projeto para avaliar e validar o desempenho de novos equipamentos [7].

Existem casos onde um modelo é baseado em formulações matemáticas. Este modelo é, em geral, desenvolvido através de equações integro-diferenciais, teoria de probabilidades, métodos algébricos, etc. Entretanto, muitas máquinas são tão complexas que seus modelos matemáticos são muito difíceis de serem formulados ou utilizados. Nestes casos, utilizam-se as técnicas de simulação para “imitar” o seu comportamento num certo intervalo de tempo. A partir desta simulação, dados são coletados como se estivesse observando a realidade. Estes dados podem então ser usados para estimar as medidas de desempenho de um equipamento [7].

Deve-se lembrar que a simulação para propósito de validação de um modelo produz um conjunto limitado de estados do equipamento modelado, por isso a simulação é efetiva para identificar a presença, mas não a ausência de erros [1].

A Figura 3 apresenta um procedimento para a utilização da simulação como método para solução de um problema.

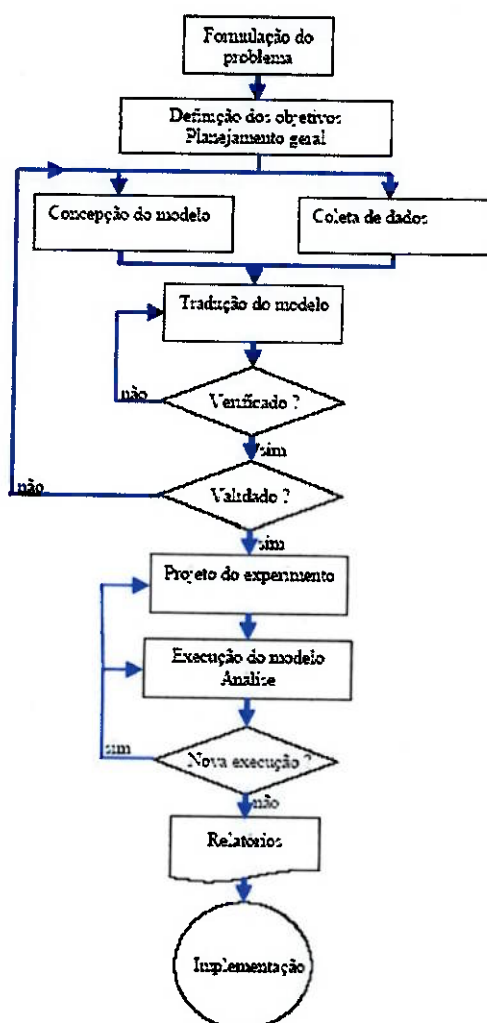


Figura 3 – Procedimento para simulação

A simulação é vantajosa quando ela “imita” com menor custo ou menos recursos o que acontece na máquina. Os dados de saída de uma simulação devem corresponder diretamente às saídas que seriam obtidas do equipamento em funcionamento. Em contraste com as técnicas analíticas, a simulação de modelos é “executada” ao invés de ser resolvida. Dado um conjunto particular de entradas o modelo é executado e o comportamento do equipamento é estudado. Este processo de alteração de variáveis do modelo resulta em um conjunto de cenários a serem avaliados [7].

2.4 Redes de Petri

A aplicabilidade das redes de Petri como ferramenta para simulação é importante por permitir uma representação matemática, a análise dos modelos e fornecer informações úteis sobre a estrutura e o comportamento dinâmico dos equipamentos modelados. Como admitem a introdução de interpretações e diferentes mecanismos, as aplicações das redes podem se dar em máquinas de diferentes características [8].

A rede de Petri (RdP), é extremamente efetiva para a modelagem, pois é de interpretação relativamente simples e fácil devido à sua representação gráfica [8].

Suas principais características são [8]:

- permitir a representação de diferentes tipos de sistemas;
- ser um modelo que pode ser formalizado matematicamente;
- ser um modelo gráfico de fácil aprendizado, funcionando como linguagem de comunicação entre especialistas de diversas áreas;
- permitir a representação de paralelismo e sincronização de processo;
- representar aspectos estáticos e dinâmicos;
- permitir a representação de estados parciais;
- possuir métodos de ferramentas e análise formal.

2.4.1 Conceitos e variações da RdP

A seguir serão apresentados alguns conceitos de RdP para o melhor entendimento do texto.

Uma representação gráfica de uma estrutura RdP consiste de NÓS conectados por segmentos orientados chamados ARCOS, os NÓS são divididos em dois tipos, os LUGARES representados por círculos e as TRANSIÇÕES representadas por barras. A ligação pelos ARCOS somente pode ser feita entre LUGARES a TRANSIÇÕES e TRANSIÇÕES a LUGARES. Este é a representação mais simples da RdP, conhecida com RdP LUGAR/TRANSIÇÃO [3].

As MARCAS nos LUGARES em uma RdP representam um estado específico do objeto que está sendo modelado, graficamente estas MARCAS são modeladas como pontos pretos no interior dos LUGARES. A MARCAÇÃO é o conjunto total de MARCAS na RdP [3].

O disparo de uma TRANSIÇÃO em uma RdP representa a ocorrência de um evento que altera o estado do objeto modelado, ou seja, altera a MARCAÇÃO atual da RdP. Para que seja possível o disparo, a TRANSIÇÃO precisa estar habilitada, ou seja, cada LUGAR de entrada contém pelo menos um número de MARCAS igual ao peso do ARCO, que é o número de marcas necessárias para que ocorra a transição de um LUGAR para um outro conectado por uma TRANSIÇÃO. Quando ocorre o disparo de uma TRANSIÇÃO é removido de cada LUGAR de entrada um número de MARCAS igual ao peso do ARCO e é adicionado aos LUGARES de saída um número de MARCAS iguais ao peso do ARCO que conecta a TRANSIÇÃO a estes LUGARES de saída [3].

ARCOS inibidores adicionam a habilidade de testar o zero, ou seja, a habilidade de testar se um LUGAR não tem MARCA [3].

A ALCANÇABILIDADE de uma RdP refere-se a possibilidade do objeto modelado atingir um determinado estado. Uma MARCAÇÃO M_i é ALCANÇÁVEL a partir de M_0 se existir uma seqüência de disparos de TRANSIÇÕES que leve uma rede com MARCAÇÃO M_0 a uma outra com MARCAÇÃO M_i . O *conjunto de alcançabilidade* é o conjunto de todas as MARCAÇÕES alcançáveis a partir de M_0 através de seqüências de disparos das TRANSIÇÕES. A ALCANÇABILIDADE é fundamental para estudar as propriedades dinâmicas do objeto modelado [3].

2.4.2 Redes de Petri Procedurais

A RdP procedural (RdPP) ou Behaviour Petri Net (BPN) é uma ferramenta que permite o diagnóstico de falhas através de aplicações de lógica inversa em relação ao

comportamento usual da RdP, de modo que se identifica o estado que causa uma certa configuração final da rede.

A definição da RdP procedural pode ser encontrada no Anexo 1.

2.4.3 Redes de Petri Auto-Modificáveis

A RdP Auto-Modificável pode ser utilizada para a modelagem de tratamento de falhas e procedimentos de manutenção em sistemas de manufatura. Esta extensão de RdP permite que uma máquina industrial modelada inicialmente através de RdP possua modos alternativos de operação da máquina. São consideradas diferentes abordagens para o tratamento de tipos específicos de falhas, que podem ocorrer em diferentes níveis do equipamento [3].

Os ARCOS auto-modificáveis (ARCOS-SM) determinam o fluxo que uma MARCA pode seguir na rede, em função do número de MARCAS de um LUGAR especificado.

2.4.4 PFS/MFG

As redes PFS/MFG permitem a construção dos modelos em blocos funcionais (atividades) de diferentes níveis conceituais admitindo, sem dificuldades, uma representação estruturada, isto é, os processos descritos em nível conceitual mais alto podem ser gradativamente detalhados. Além disso, possibilita a representação de processamentos paralelos, concorrentes e assíncronos, que são características do controle de máquinas industriais [8].

2.5 Síntese dos Conceitos

Considerando-se uma máquina industrial que apresenta falhas e a necessidade de se fazer um controle destas, pode-se utilizar a ferramenta da simulação para fazer o acompanhamento do processo de operação dessa máquina. Ela, com os dados captados pelo sistema de sensoriamento, dará informações que irão indicar se a operação está se desenvolvendo conforme o esperado.

Utiliza-se a RdP para modelar o processo da máquina sem falhas, a RdPP para identificar as falhas utilizando as informações obtidas pelos sensores que são processadas para chegar na causa da falha, e a RdP auto-modificável para realizar o tratamento.

Com o intuito de melhorar a visualização e simplificar a modelagem do processo da máquina sem falhas, pode-se utilizar as redes PFS/MFG.

3. Método para Modelagem de Máquinas

Apresenta-se aqui um método para modelagem de máquinas industriais, considerando suas falhas e conseqüentes tratamentos através de uma abordagem “top-down” modularizada partindo do genérico para o específico. Este método, segundo uma abordagem sistematizada e estruturada é dividida em várias etapas.

Entretanto, quando se consideram sistemas de maior complexidade, como é o caso de algumas máquinas industriais, as etapas nem sempre podem ser delimitadas. Assim as revisões de cada etapa são formalizadas dentro de um conceito de prototipagem, onde projeto e desenvolvimento são realizados repetindo-se o ciclo apresentado na Figura 4 [8].

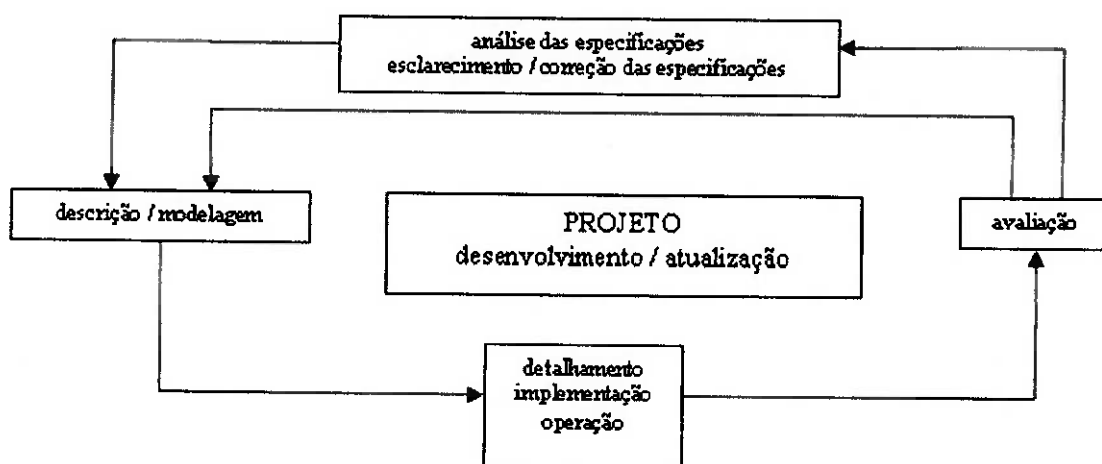


Figura 4 – Ciclo de prototipagem de software

As etapas consideradas para a modelagem de máquinas industriais considerando suas falhas são as seguintes:

- Identificação dos dispositivos de controle.
- Definição das funções de controle.
- Modelagem do fluxo das funções de controle.
- Levantamento das falhas.
- Classificação das falhas
- Modelagem do tratamento de falhas.
- Modelagem do processo de identificação das falhas.
- Integração das redes.

3.1 Identificação dos Dispositivos de Controle

Lembramos que neste caso, considera-se que a máquina já existe, assim, esta primeira etapa pressupõe que já existe um conhecimento sobre a sua operação.

Assim o foco aqui está na identificação dos dispositivos de controle da máquina (Figura 5), isto é, com base nos manuais e dados os operadores da máquina deve-se gerar os seguintes documentos:

- Lista dos dispositivos de comando.
- Lista dos dispositivos de monitoração.
- Lista dos dispositivos de detecção.
- Lista dos dispositivos de atração.
- Especificação dos dispositivos de realização do controle.

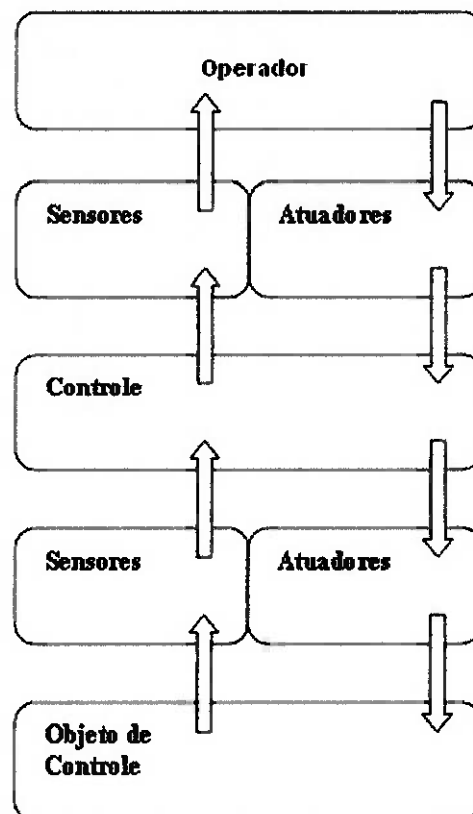


Figura 5 – Sistema de controle da máquina

3.2 Definição das Funções de Controle

Na definição das funções de controle identifica-se o que concretamente a máquina executa. Para sistematizar tais funções deve-se elaborar um diagrama estrutural de inter-relacionamento das mesmas, conforme ilustrado na Figura 6 [8].

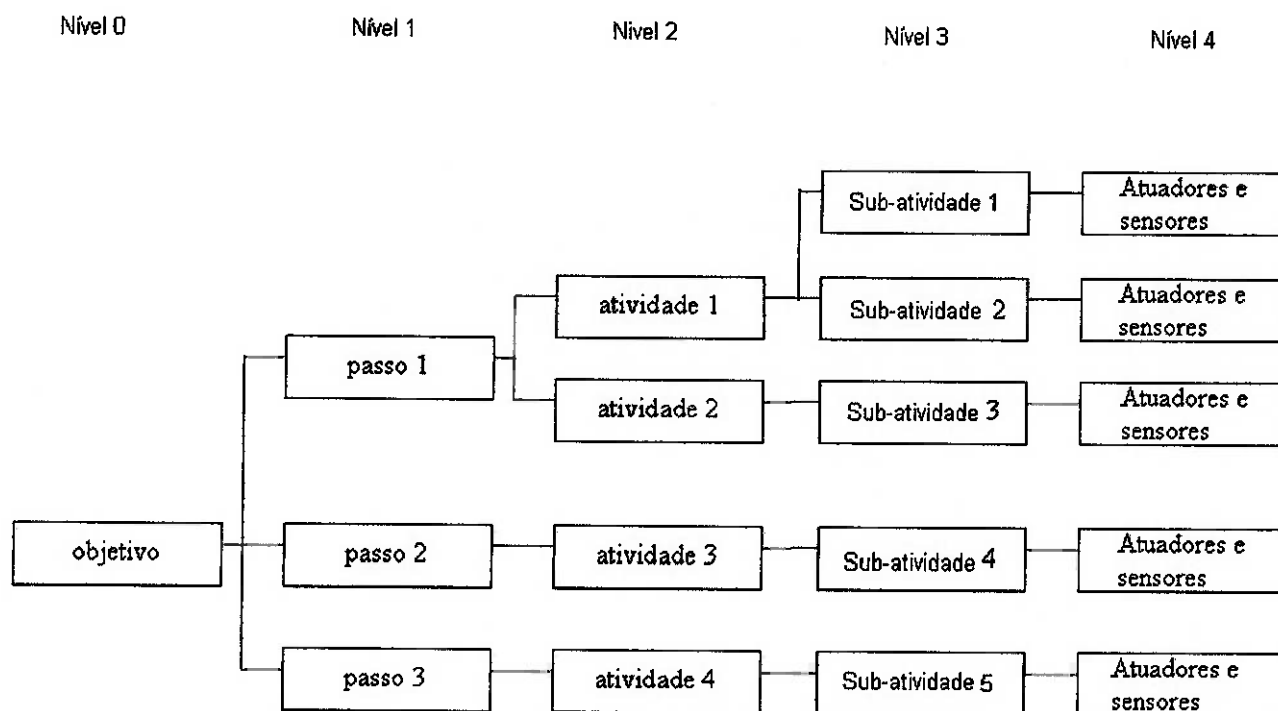


Figura 6 – Diagrama estrutural das funções

3.3 Modelagem das Funções de Controle

As funções necessárias, que foram identificadas pelo diagrama estrutural de inter-relacionamentos das funções (Figura 6) devem ser desenvolvidas até um nível apropriado, detalhando-as e acrescentando funções complementares até se obter uma descrição completa de sua realização física. Para realizá-las de modo estruturado deve-se definir as atividades principais e seus relacionamentos [8].

A Figura 7 mostra um exemplo da representação em PFS/MFG em um nível macro do fluxo das funções de controle, que devem ser desenvolvidas e detalhadas a partir do diagrama funcional (Figura 6), já que há uma relação unívoca existentes entre as duas representações [8].



Figura 7 – PFS no nível macro das funções de controle

Durante o processo de detalhamento do diagrama funcional também se especifica os sinais de controle envolvidos (Figura 5), que implementa os intertravamentos entre as atividades.

Assim, como final desta etapa, tem-se os PFS/MFG da operação (sem considerar as falhas) da máquina (RdP-Central).

3.4 Levantamento das Falhas

Faz-se um levantamento de todas as falhas que podem ocorrer no equipamento, independentemente de critérios de seleção para que todas as possíveis falhas tornem-se evidentes. Como as falhas mais visadas são as que causam algum defeito, uma análise pela esfera dos defeitos é mais aconselhável, por ser uma tarefa menos exaustiva e mais objetiva. Posteriormente, caso o número de falhas seja grande, uma análise baseada na frequência e conseqüências de eventuais defeitos causados por tais falhas é imprescindível para uma definição de quais delas serão modeladas.

3.5 Classificação das Falhas

As falhas tratadas serão as de operação, internas, naturais, sem más intenções e não deliberadas, visto que as demais falhas nestas classificações, por seu caráter aleatório, requerem tratamentos muito específicos em áreas muito diversas, tornando sua modelagem uma atividade muito complexa. Além disso, devido às falhas serem consideradas em função de seus respectivos defeitos, é fundamental uma classificação destes defeitos para facilitar o processo de modelagem do processo de detecção e tratamento de falhas.

3.6 Modelagem do Tratamento das Falhas

Os quatro métodos de tratamento de falhas citadas em [1], [3] e [4] introduzem sub-redes na RdP-Central tais que, enquanto o equipamento opera em situação normal o modelo original (RdP-Central) é executado, e, quando ocorre uma falha, a respectiva sub-rede é executada para recuperar a máquina desta situação. Estas sub-redes realizam a recuperação das falhas (e conseqüentes defeitos) previamente seleccionadas que foram detectadas pela parte da rede responsável por esta tarefa. Estes quatro métodos são descritos a seguir [1]:

- 1- Método da entrada condicionada: neste caso, quando é detectado um estado anormal ou de falha num LUGAR da RdP, que representa uma operação ou estado de um equipamento, este pode voltar a ser uma operação ou estado em situação normal se for realizada uma ação corretiva. A Figura 8.a esquematiza a recuperação de falhas por este método, onde Z representa a RdP-Central e S é um bloco de RdP adicional representando o procedimento de recuperação da falha. As outras duas Figuras 8.b e 8.c esquematizam dois casos particulares. O primeiro ilustra o caso no qual só é necessário trocar alguns parâmetros de operação e o segundo modela um processo de recuperação representado por um único LUGAR.

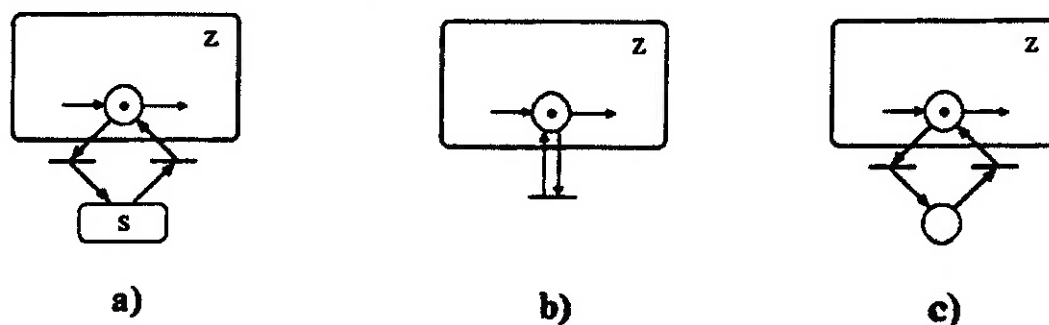


Figura 8 – Esquema de recuperação pelo método da entrada condicionada

- 2- Método da rota alternativa: neste caso, um estado anormal detectado no LUGAR P_i é tratado e o problema é solucionado gerando-se uma rota alternativa de P_i diretamente para P_m através da sub-rede S, onde serão gerados outros estados que garantem a recuperação do equipamento e evitando a execução da atividade Q (Figura 9). Esta metodologia é equivalente

à utilização de recursos redundantes no equipamento que substituem as funções realizadas em Q.

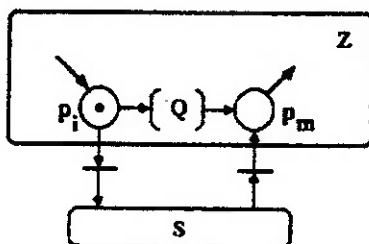


Figura 9 – Esquema de recuperação pelo método da rota alternativa

- 3- Recuperação de falhas “backward”: neste método, após a execução da atividade Q, é detectado no LUGAR P_m um estado de falha. Este problema é solucionado com a execução das operações da sub-rede S que resulta numa re-execução de Q (Figura 10). É equivalente ao reprocessamento.

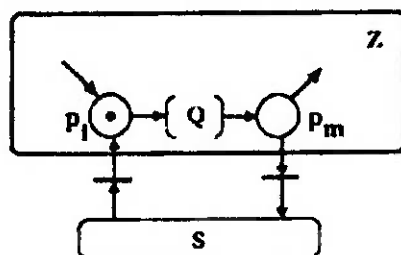


Figura 10 – Esquema de recuperação de falhas backward

- 4- Recuperação de falhas “forward”: no caso de detecção de um estado de falha no processo Q, o equipamento pode retornar a um estado normal executando-se a sub-rede S. Esta técnica é utilizada para a recuperação de uma falha que é detectada apenas durante o processo Q (Figura 11).

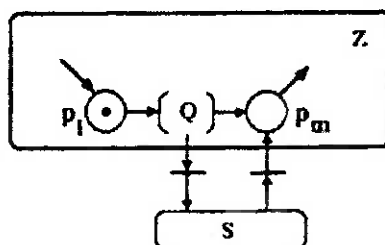


Figura 11 – Esquema de recuperação de falhas “Forward”

Deve-se analisar qual dos tipos é o mais apropriado para a falha que será tratada e qual deles efetivamente pode ser utilizado devido às características de operação da máquina.

3.7 Modelagem do Processo de Identificação das Falhas

Uma RdP pode ser utilizada para modelar o procedimento de diagnóstico de uma máquina industrial desde que nenhum processo recursivo necessite ser considerado. Instâncias particulares de um estado podem ser representadas por LUGARES, e as relações de causa-efeito entre estas instâncias podem ser representadas por TRANSIÇÕES. Assim, uma RdP pode ser utilizada para representar a estrutura de operação de um equipamento que relaciona causa e efeitos. De fato, uma base de conhecimento pode ser utilizada para resolver o problema do diagnóstico de falhas através da utilização da árvore ou grafo de alcançabilidade de uma RdP [3].

Uma das vantagens de utilizar RdPP (Rede de Petri Procedural) para modelar o processo de diagnóstico de falhas de uma máquina é a possibilidade de explorar o paralelismo inerente do modelo [3].

A construção de um modelo para execução do diagnóstico pode ser de duas maneiras [3]:

- Através de um especialista que conheça e defina a relação entre variáveis (representadas por LUGARES) e defina os critérios de escolha do próximo estado (disparo das TRANSIÇÕES); ou
- Baseados em tabelas de dados, neste caso uma abordagem probabilística seria mais adequada.

Para a modelagem do processo de diagnóstico de falhas, considera-se uma RdPP dividida em 5 camadas: sensores, levantamento de padrões, causas da falha, ajuste de parâmetros e tratamento sugerido [4]:

- Camada de sensores: os sinais dos sensores devem ter um processamento adequado e uma extração de características que possibilitem o reconhecimento (de modo binário) da falha para as etapas posteriores de diagnóstico das causas e recuperação da falha. Uma MARCA nos LUGARES relativos aos sensores da rede RdPP, indica que está sendo detectado algum tipo de anomalia por um destes sensores.

- Camada de levantamento de padrões: Os sinais de alguns sensores podem indicar o estado de falha de algum componente da máquina, isso conforme o comportamento do sinal captado.
- Camada das causas: as causas de falha são atribuídas aos fatores que causaram a falha.
- Camada de ajuste de parâmetros: nesta camada especifica-se se as falhas podem ser corrigidas ajustando-se os parâmetros de operação ou não. Para isso se deve identificar a magnitude do desvio do processo real em relação ao desejado, depois especificar as mudanças nos parâmetros da operação, caso haja mais de uma solução usar o mais adequado baseado nas condições físicas e de segurança, do processo, do produto e verificar se os parâmetros alterados não causam ou quais as que causam menos efeitos colaterais.
- Camada de tratamento sugerido: a MARCAÇÃO nesta parte do modelo indica o tratamento para recuperar a máquina da falha. Estas indicações podem ser: a necessidade de alterar parâmetros ou a troca de componentes podendo ter a necessidade da intervenção do operador.

Espera-se que as medidas corretivas tomadas sejam efetivas fazendo com que os sinais de entrada dos sensores retornem ao padrão de funcionamento, indicando que a operação pode prosseguir normalmente. Entretanto, o diagnóstico pode eventualmente estar errado ou as medidas podem não ter o resultado esperado, neste caso os sensores continuaram indicando algum tipo de falha [4].

No diagnóstico baseado no *disparo inverso* das TRANSIÇÕES, os LUGARES da parte inferior do modelo estão associados aos sinais dos sensores. Assim através do *disparo inverso* das TRANSIÇÕES consegue-se obter a MARCAÇÃO inicial e deste modo, concluir qual a causa mais provável de falha e qual ação corretora que deverá ser executada para recuperar a máquina do estado de falha [4].

Observa-se que o critério de *disparo* das TRANSIÇÕES pode ser analisado de duas formas. As TRANSIÇÕES T_n que *disparam* de maneira instantânea assim que estiverem habilitadas e as TRANSIÇÕES T_{OR} onde o critério para seu *disparo* depende do número de condições de entrada e/ou de saída [4].

3.8 Integração das Redes

A RdP distribuída (RdPD) ou Distributed Petri Net (DPN) é uma estrutura ("framework") utilizada para integrar diferentes tipos de rede de Petri. A abordagem de RdPD é baseada na integração de três tipos de modelos [3]:

- Uma Rede-central (RdP-central) geralmente associada à modelagem dos processos sob domínio de um supervisor no nível de gerente das operações do equipamento;
- Sub-redes (S_i) de rede de Petri para modelar o procedimento de tratamento de falhas, as quais são adicionadas à RdP-central formando a rede de Petri-central-Estendida (RdP-central-E); e
- Vários blocos RdPP associados à modelagem de diferentes procedimentos de diagnóstico de falhas.

Os modelos da RdP-central e sub-redes são individualmente baseados na RdP LUGAR/TRANSIÇÃO, no entanto, o conjunto RdP-central-E é baseado nos conceitos de RdP LUGAR/TRANSIÇÃO com ARCOS INIBIDORES e ARCOS auto-modificáveis [3].

Desta forma, uma RdPD pode ser definida como um multígrafo bipartido direcionado que tem por característica a capacidade de alterar a sua própria estrutura em função do estado atual da máquina, o que é conseguido através de ARCOS cujos pesos (k) são função do número de MARCAS de algum LUGAR específico, definido previamente [3].

Na metodologia proposta, a utilização das RdPD elimina os conflitos resultantes da conexão (gráfica e procedural) da RdP-central e das sub-redes S_i . A RdPD permite também associar os procedimentos dos blocos RdPP que executam o diagnóstico com os procedimentos desenvolvidos na RdP-central-E, permitindo um acoplamento procedural dos processos sem incrementar outros elementos no grafo, que certamente comprometeria a visualização e entendimento do modelo com influência direta e negativa na manutenção e atualização deste. A Figura 12 ilustra o acoplamento explícito entre o conjunto de sub-redes S_i e a RdP-central, formado conjuntamente a RdP-central-E. Nota-se que o acoplamento entre a RdP-central-E e o conjunto de blocos de execução do diagnóstico $RdPP_j$ é implícito, isto é, o acoplamento não é visualizado graficamente mas existe um acoplamento procedural [3].

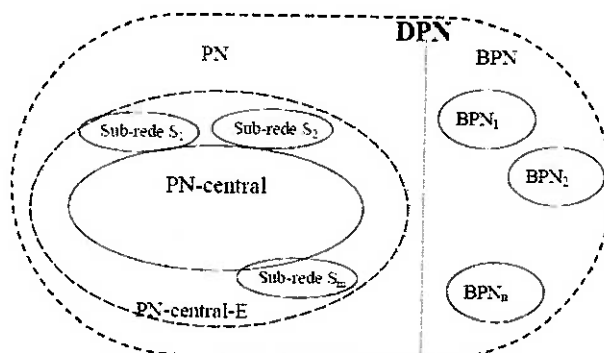


Figura 12 – Estrutura de integração dos modelos numa RdPD

Dentro da RdPD, a RdP-central-E e as RdPP devem ser analisadas separadamente, já que as características e propriedades que devem ser analisadas em cada modelo são diferentes. Por exemplo, na RdP-central-E devem ser analisadas, entre outras, as propriedades de limitação, vivacidade, reinicialização; enquanto que nos blocos RdPP devem ser analisadas a segurança, reversibilidade, conflitos [3].

A interação entre os blocos RdPP e a RdP-central-E é realizada através dos ARCOS auto-modificáveis, onde o número de MARCAS em LUGARES predefinidos nos blocos RdPP determinam o peso de ARCOS na rede RdP-central-E [3].

A solução dos conflitos estabelecidos com o acréscimo das sub-redes para tratamentos de falhas são implementados com base no resultado do diagnóstico de falhas representados na MARCAÇÃO dos modelos em RdPP, os quais estabelecem (através de ARCOS auto-modificáveis) a seqüência do fluxo de MARCAS na RdP-central-E [3].

Na Figura 13 é ilustrada uma sub-rede S adicionada na RdP-central. Os pesos dos ARCOS auto-modificáveis (ARCOS-SM), associados à MARCAÇÃO dos LUGARES p_{f0} , p_{f1} , dependem da MARCAÇÃO na RdPP que modela o diagnóstico de falhas de um equipamento. Estes ARCOS-SM determinam a seqüência que pode seguir a MARCA que está no LUGAR p_j , especificando, assim, a manutenção da MARCA na RdP-Central (caso seja diagnosticado p_{f0}) ou execução da sub-rede S , no caso de se diagnosticar uma falha p_{f1} , e posteriormente o retorno da MARCA à RdP-Central no LUGAR de p_m [3].

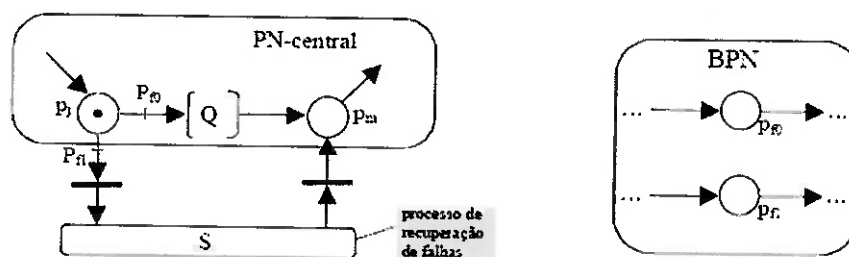


Figura 13 – Solução de conflitos utilizando arcoss-SM

Quando o processo de recuperação modelado por uma sub-rede for bem sucedido, o procedimento final será “resetar” as MARCAS da RdPP (para que seja possível a realização de um novo diagnóstico), e retorna-se a MARCA da sub-rede para a RdP-central [4].

4. Exemplo de Aplicação: Bobinadeira

As bobinadeiras estudadas fazem parte do processo de fiação de fios de nylon mostrado na Figura 15 e explicado a seguir.

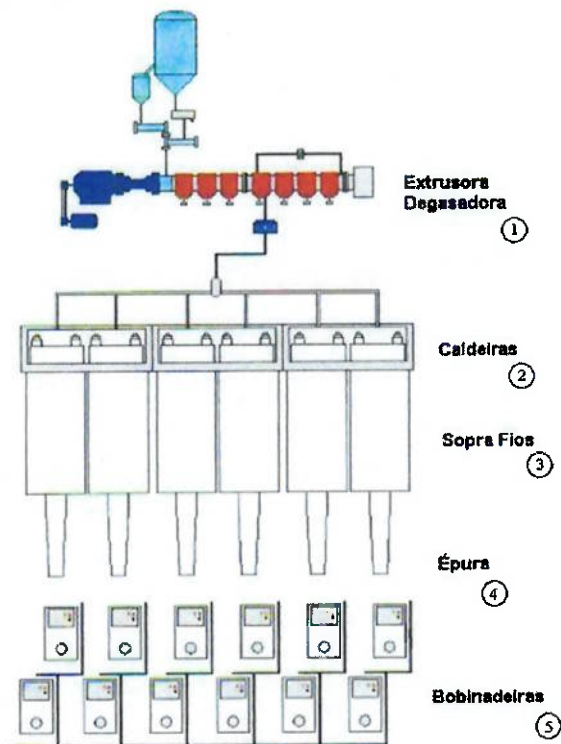


Figura 15 – Esquema de funcionamento das máquinas

O polímero granulado é extrudado (1), passando pelas caldeiras (2), onde é aquecido, e posteriormente pelas fierias, formando assim diversos fios de nylon. Estes fios, pelo efeito da gravidade, caem nos sopra fios (3), sendo então conduzidos para a épura (4), onde um óleo chamado ensimagem, que lubrifica e fornece algumas características ao fio, é aplicado. Por fim estes fios são soprados para as bobinadeiras (5), onde são enrolados sobre tubos de papelão e em seguida estocados e vendidos.

Para o presente trabalho considera-se a bobinadeira Barmag, modelo SW 46 2S – 900/6 instalado na planta de Santo André da Rhodia Poliamida e Especialidades, mostrada nas Figuras 16 e 17 durante sua manutenção e em operação na Figura 18. No local estão instaladas cento e trinta e seis bobinadeiras, além de outras quatro na reserva caso seja necessária uma substituição.



Figura 17 – Outro ângulo da bobinadeira

8. Rolo ranhurado: componente de apoio dos fios ao chegarem às bobinas; possui um motor elétrico interno que gira sua carcaça e tem um controle de frequência para distribuição homogênea dos fios sobre as bobinas.
9. Régua da reserva de fio: haste que força o enrolamento da reserva de fio, que se trata de uma pequena quantidade de fio enrolada separadamente em uma das extremidades do tubo de papel que permite a emenda entre o final de uma bobina e o início de outra, para qualquer processo posterior à fiação.
10. Régua: limita a movimentação das borboletas para que estas só se desloquem na direção horizontal.
11. Sistemas pneumático e elétrico: válvulas, mangueiras, placa de comando e cabos que auxiliam no controle da bobinadeira.
12. Came: é acionada pelo ranhurado através de uma correia; guia as borboletas em um movimento oscilatório.
13. Borboletas: peças que, em conjunto com o rolo ranhurado, guiam os fios ao longo da largura da bobina.
14. Pannel de comando: pannel onde estão situados os botões e sinalizadores.
15. Rolo piloto: rolo que está sempre em contato com a bobina, elevando o cabeçote (conjunto das peças 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14 e 15) conforme seu diâmetro aumenta.



Figura 18 – Bobinadeiras em funcionamento

As bobinas são enroladas a uma velocidade situada na faixa entre 4200 m/min e 5200 m/min. Assim o tempo de enrolamento de uma bobina completa pode variar entre duas e cinco horas, dependendo do tipo de fio. Cada bobinadeira comporta em seu mandril seis bobinas de papelão com largura de 150 mm, dos quais 120 mm serão utilizados para o enrolamento do fio. Após o processo a bobina de fio deve ter um diâmetro de, no máximo, 435 mm e ter um peso próximo a 12 kg cada.

O tempo médio mensal de parada para cada máquina é de 5,3 horas, ou seja, algo próximo a 720 horas de máquina parada por mês no total. Como se trata de um processo que não pode ser interrompido, este tempo, além de representar uma diminuição na produtividade da planta, também representa geração de refugo. Isso resulta em uma perda mínima de 10 toneladas de nylon e mais de 830 bobinas não enroladas por mês.

4.1 Seqüência de Operação

A seqüência de operação envolve três fases, sendo que o início de operação ocorre quando do acionamento da bobinadeira através do botão no painel de comando situado acima do cabeçote. A partir deste momento o ciclo completo de operação tem a seguinte seqüência:

Fase de Lançamento

- 1- O rolo ranhurado é acionado por um operador ao pressionar o botão de “partida e aplicação do fio” (PADF) presente no painel de comando e gira também a came, através de uma correia sincronizadora, até a velocidade de trabalho. Um

sensor de velocidade situado na parte frontal da came libera o cabeçote para a próxima etapa.

2- Quando o operador aciona novamente o botão PADF o braço lançador se posiciona (indo do lado direito para o esquerdo do equipamento) para que os fios sejam fixados nele.

3- O mandril trava as bobinas e o freio é liberado.

4- É liberada a trava do cabeçote.

OBS.: Quando o cabeçote da bobinadeira estiver na posição superior, um sensor de proximidade superior (limite de enrolamento) e um sensor de proximidade do destaca bobina devem atuar (sinalizado através de indicação luminosa).

5- Após o botão PADF ser novamente acionado, inicia-se a decida do cabeçote e o mandril começa a girar à baixa rotação. Neste instante é acionado o sistema de refrigeração do motor do mandril.

6- O cabeçote da bobinadeira desce na medida em que pistões são descomprimidos através de uma válvula de restrição de fluxo do sistema pneumático. O sensor de proximidade superior é desativado.

7- Faltando aproximadamente 25 mm para que o cabeçote encoste no mandril, esta velocidade é reduzida também pelo sistema pneumático, afim de evitar danos ao equipamento. Quando o cabeçote chega à posição inferior, o sensor de proximidade inferior atua (sinalizado através de indicação luminosa) e também entra em funcionamento a pressão de encosto de aproximadamente $2,9 \text{ kgf/cm}^2$ que serve para suportar parte do peso do cabeçote durante o enrolamento.

8- Para que não haja nenhum problema durante a sincronização de velocidades do rolo piloto com o mandril, o pistão auxiliar (de contra pressão) é acionado à uma pressão de 6 kgf/cm^2 , pressionando o cabeçote em direção ao mandril para que haja contato e atrito suficiente entre as partes.

9- O cilindro de pressão, através de um sensor, passa a monitorar a velocidade do mandril até que os dois elementos (mandril e piloto) atinjam sincronismo, quando então uma indicação luminosa é acionada na parte frontal do cabeçote.

10- Após atingir a velocidade de trabalho é acionado o botão PADF novamente, quando então o braço lançador faz o lançamento do fio no casco. A régua da reserva fica em posição de lançamento durante um tempo aproximado de 300 ms, formando-se a reserva do fio. Após este tempo a régua faz o lançamento do

fio na borboleta, começando então a bobinagem. É desativado o pistão auxiliar (de contra pressão).

11-Após aproximadamente 20 mm de enrolamento a pressão é alterada de 2,9 kgf/cm² para 2,85 kgf/cm² (pressão de encosto e pressão de enrolamento respectivamente) quando o sensor inferior é desativado.

12-Encerra-se o ciclo de lançamento e então o tempo de enrolamento será função do tipo de fio a ser processado.

Fase de Enrolamento

13-Durante o enrolamento o cilindro de pressão controla a velocidade do mandril (diminuindo gradativamente a rotação para manter a velocidade periférica da bobina).

14-Neste período ocorre a "brouvillagem" (controle da frequência do rolo ranhurado para distribuição homogênea do fio ao longo da bobina).

Fase de Retirada

15-Completando o ciclo de enrolamento, o operador aciona o botão "stop", também presente no painel de comando.

16-Neste momento o cabeçote volta para a posição superior e o motor do mandril é desligado automaticamente. O freio é acionado para parar o mandril.

17-A trava da bobinadeira atua como segurança para evitar a descida do cabeçote.

18-Com o cabeçote na posição superior é acionado o botão "empurrar", também parte do painel, e o mandril libera as bobinas e o extrator (acionado por pistões) as empurra até o fim do mandril, retornando posteriormente à posição inicial. Durante a extração da última bobina o botão é mantido pressionado até o final de curso.

4.2 Aspectos de Segurança

Existe risco de acidente quando o cabeçote da bobinadeira está na posição inferior, uma vez que após 3 minutos sem fio ou com o braço lançador no lado esquerdo, ele retorna à posição inicial. Por ser um equipamento rotativo, existe sempre o risco de acidente por contato com partes girantes (came, rolo ranhurado, mandril ou piloto).

4.3 Defeitos em Bobinadeiras

Como base para este trabalho a ocorrência de defeitos em bobinadeiras segue o gráfico apresentado na Figura 19.

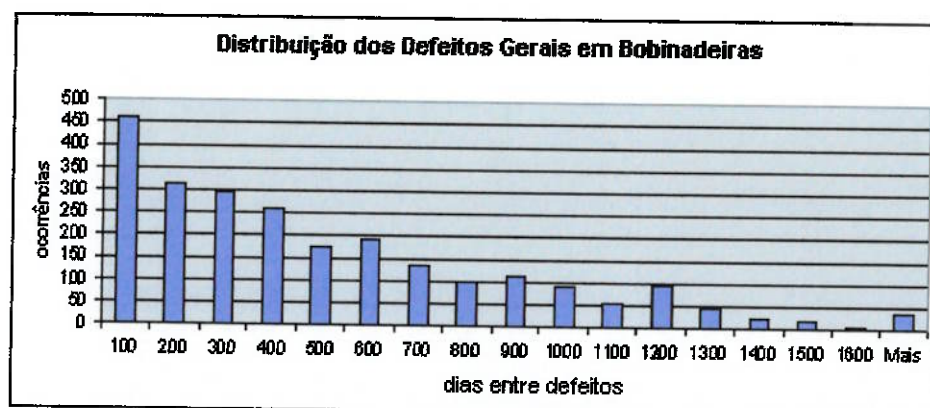


Figura 19 – Gráfico de defeitos em bobinadeiras

Este gráfico é um histórico das máquinas desde que foram instaladas em 2000 e só estão listados os incidentes do Anexo 3 que causam a parada da máquina para posterior reparo na oficina de manutenção, quando gasta-se mais de 7 mil reais por ocorrência.

4.4 Aplicação do Método de Modelagem para as Bobinadeiras

4.4.1 Identificação dos Dispositivos de Controle

O objetivo de um sistema de controle para as bobinadeiras consideradas neste trabalho é a produção em larga escala de bobinas de fio de nylon, além de unir funções como enrolamento e estiragem dos fios.

Abordando a bobinadeira de acordo com a Figura 6 tem-se que os atuadores são de dois grupos: os elétricos e os pneumáticos. Os atuadores elétricos (rolo ranhurado, motores do mandril e de refrigeração) já foram vistos na apresentação da bobinadeira, enquanto que os atuadores pneumáticos são vistos no anexo 1, onde é apresentado todo o circuito pneumático, juntamente com os pistões e válvulas responsáveis pelo acionamento do freio, da trava de segurança, do destaca bobina, da régua da reserva, do braço basculante, das castanhas de fixação e das pressões utilizadas durante o processo.

Os sensores identificados são os seguintes:

1. sensor de proximidade do destaca bobina: sensor de presença que indica a proximidade entre o destaca bobina e a carcaça da bobinadeira, ou seja, que o pistão do mesmo está recolhido.
2. sensor de proximidade inferior: sensor que identifica a presença do cabeçote na posição inferior (25 mm ou menos do mandril)
3. sensor de proximidade superior: sensor que indica que o cabeçote chegou à posição superior, ou seja, no diâmetro máximo da bobina ou acima disto.
4. sensores de rotação do mandril e do rolo piloto: sensor que indica se estes componentes estão em sincronia, também sendo utilizado para o controle de rotação do mandril para manutenção da velocidade periférica.
5. sensor de velocidade da came: sensor que mede a velocidade da came, conseqüentemente do rolo ranhurado, já que este atua sobre ela.
6. sensor de refugo entre o rolo ranhurado e o rolo piloto: sensor que indica a presença de refugo entre os componentes.
7. sensores térmicos: são 3, no motor do mandril, no motor de refrigeração e no rolo ranhurado e medem a temperatura interna destes motores.
8. pressostatos: são 6, todos detalhados no Anexo 1, que medem as pressões nas linhas pneumáticas da bobinadeira.
9. sensores de vibração: uma vez por semana os técnicos passam de máquina em máquina levantando o espectro de vibração das bobinadeiras.

Por fim, a parte do controle é representada por um CLP, que executa as funções de controle da bobinadeira, atuando a partir da leitura dos sensores, da interface entre o operador e o equipamento (painel) e de uma lógica interna que rege seu funcionamento, lógica esta que é o objetivo deste trabalho.

4.4.2 Definição das Funções de Controle

Definindo as funções de controle da bobinadeira, pode-se montar um diagrama de acordo com a Figura 20.

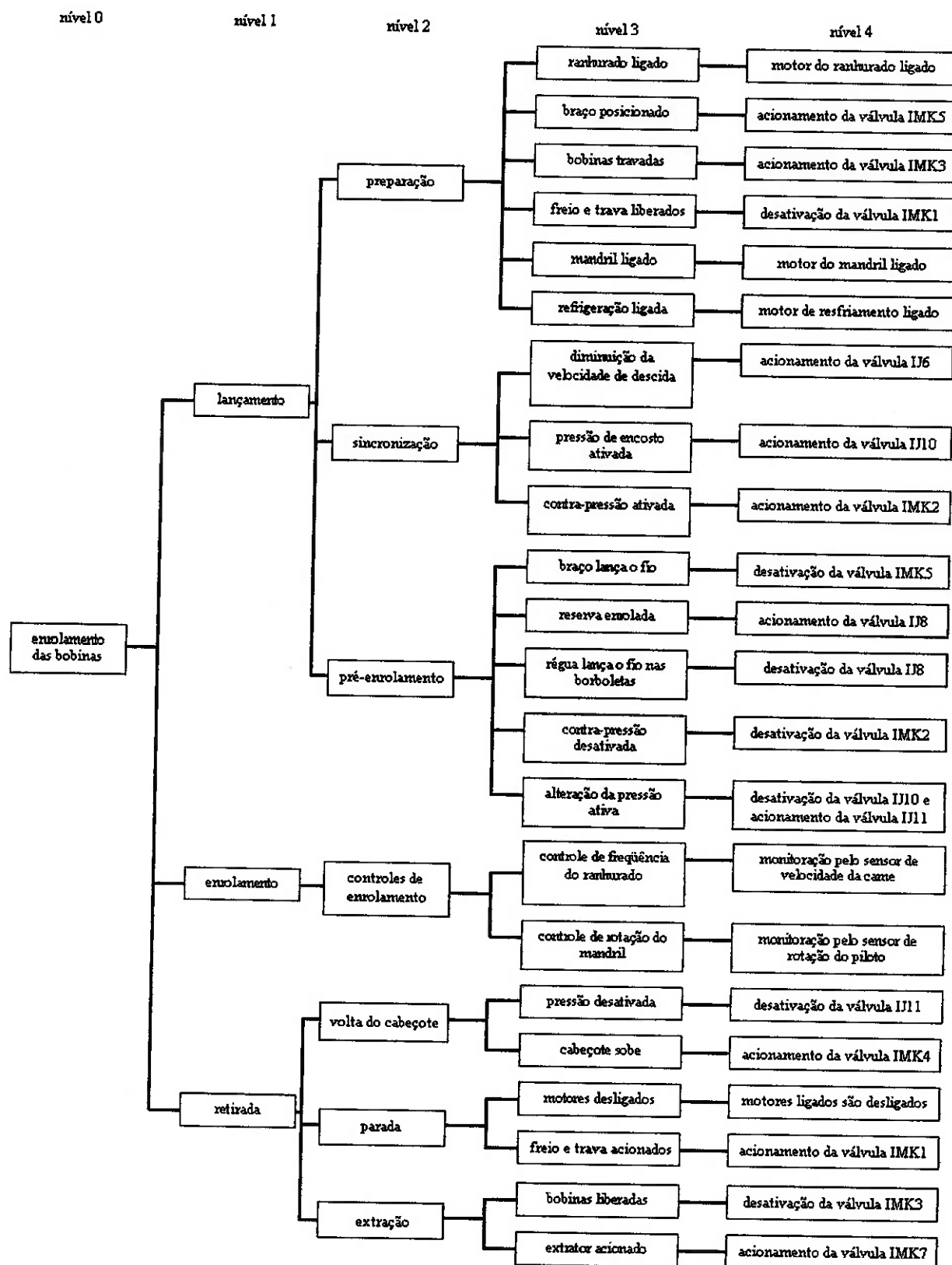


Figura 20 – Estruturação das funções da bobineadeira

O dispositivo de comando e monitoração consiste do painel de controle, o dispositivo de realização do controle nada mais é que o CLP, os dispositivos de atuação são os motores elétricos e os pistões pneumáticos, enquanto que sensores e pressostatos compõem os dispositivos de detecção. Considera-se o fio a ser enrolado como recurso e a bobina como produto.

4.4.3 Modelagem das Funções de Controle

A Figura 21 é uma representação conceitual do fluxo das funções de controle vistas na Figura 20.

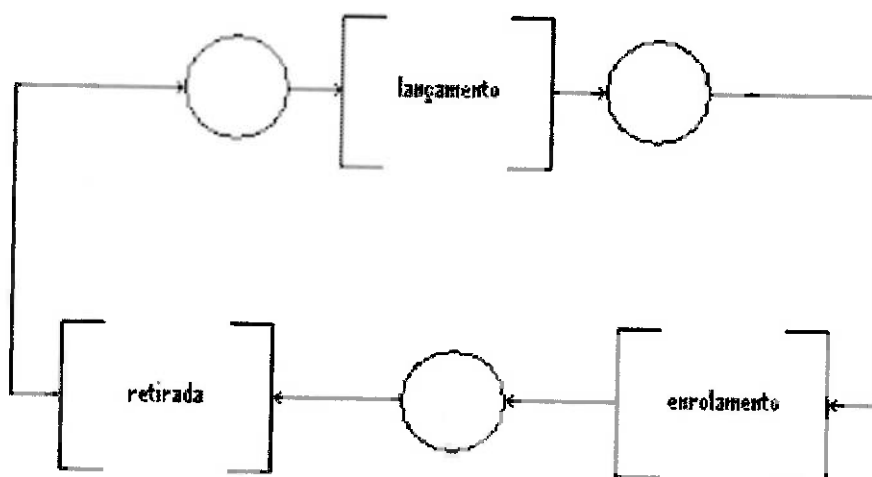


Figura 21 – PFS/MFG da bobinadeira (Nível 1 do diagrama da Figura 20)

A seguir detalham-se as atividades da Figura 21.

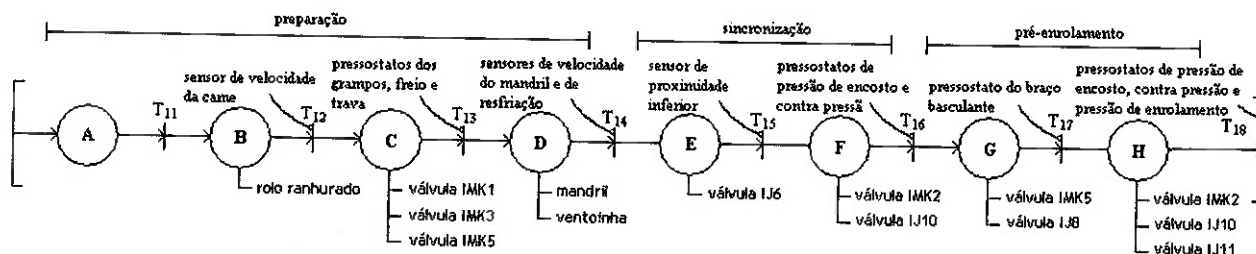


Figura 22 – Atividade [lançamento]

Na Figura 22 as etapas são as seguintes:

- A: inserção dos tubos de papel no mandril (operador).
- B: o rolô ranhurado é ligado.

- C: o braço lançador é posicionado, as bobinas são travadas e o freio e a trava são liberados.
- D: cabeçote começa a descer, mandril e a ventoinha para refrigeração são acionados.
- E: diminui-se a velocidade de descida.
- F: pressões de encosto e contra-pressão são ativadas.
- G: o braço basculante lança o fio e a reserva é enrolada.
- H: a régua lança o fio nas borboletas, a contra-pressão é desativada e a pressão de encosto é substituída pela de enrolamento.

Os intertravamentos funcionam de acordo com o indicado:

- T₁₁: botão de partida acionado.
- T₁₂: sensor de velocidade da came acionado.
- T₁₃: pressostatos da linha dos grampos de fixação das bobinas e liberação do freio e da trava ativados.
- T₁₄: temporizador da descida do cabeçote e sensores de velocidade do mandril e do motor de refrigeração indicam valor diferente de 0.
- T₁₅: sensor de proximidade inferior acionado.
- T₁₆: pressostatos da pressão de encosto e da contra pressão acionados
- T₁₇: pressostato do braço basculante acionado e temporizador de enrolamento da reserva.
- T₁₈: pressostatos da pressão de encosto e da contra pressão desativados e pressostato de enrolamento acionado.

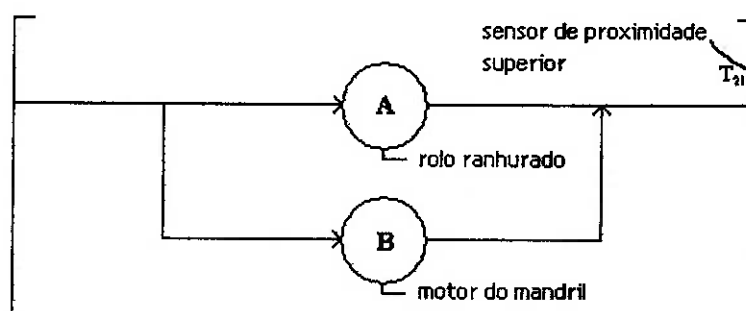


Figura 23 – Atividade [enrolamento]

Na Figura 23 o LUGAR A representa o controle de frequência do rolo ranhurado enquanto que o LUGAR B representa o controle de rotação do mandril. Já a TRANSIÇÃO T₂₁ é ativada quando o sensor de proximidade superior da bobinadeira é acionado, indicando que o processo de enrolamento chegou ao fim.

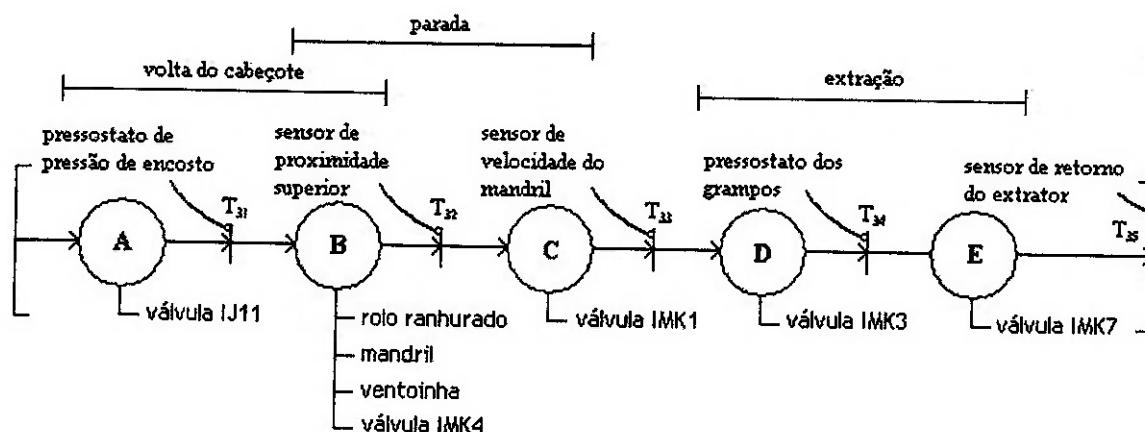


Figura 24 – Atividade [retirada]

Os LUGARES da Figura 24 são os seguintes:

- A: pressão de encosto desativada.
- B: subida do cabeçote e motores desligados.
- C: freio e trava acionados.
- D: bobinas liberadas.
- E: extrator acionado.

As TRANSIÇÕES são acionadas da seguinte forma:

- T₃₁: pressostato da pressão de encosto desativado e botão stop pressionado.
- T₃₂: sensor de proximidade superior.
- T₃₃: sensor de velocidade do mandril indica 0.
- T₃₄: pressostato da linha dos grampos de fixação das bobinas desativado e botão extrator acionado.
- T₃₅: sensor de retorno do extrator ativado.

4.4.4 Levantamento das Falhas

Como o número de defeitos levantados é de cerca de 130, optou-se por uma seleção onde somente as falhas que ocorressem com maior frequência e/ou que acarretassem em um maior impacto tanto de risco de segurança quanto de custo seriam tratadas. Assim, de forma genérica, chegou-se à seleção das seguintes falhas:

- Entrada de refugo (no mandril, came e rolos ranhurado e piloto).
- Rolamentos danificados (mandril, motor e rolos piloto e ranhurado).

- Falhas no freio (polia do mandril gasta e pistões do freio danificados).

4.4.5 Classificação das Falhas

Todos estes defeitos não são resultados de ações dos operadores, portanto a classificação por competência não se aplica. Por outro lado, todos eles são transientes, ocorrendo aleatoriamente, no caso da entrada de refugo nos componentes, ou devido a processos de desgaste natural do equipamento, nos outros casos.

4.4.6 Modelagem do Tratamento das Falhas

Devido às falhas de entrada de refugo no mandril e problemas com rolamentos serem eventos que não dependem de um determinado estado para acontecerem, ocorrendo ao longo da fase de enrolamento, a melhor opção dentre as alternativas é a recuperação de falhas "forward". Na verdade, por ser um processo cíclico, não importaria se a recuperação fôsse para frente ("forward") ou para trás ("backward"), porém a característica é que, em qualquer momento da operação do processo em que se detecte uma falha, o fluxo da rede principal deve ser desviado para o devido tratamento. A Figura 25 representa a aplicação deste processo para os dois casos.

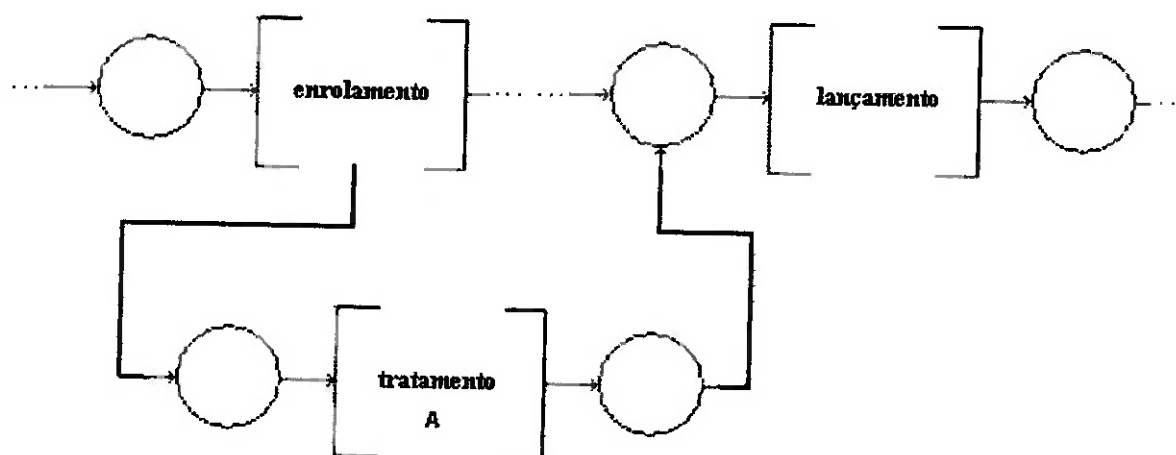


Figura 25 – Aplicação da recuperação de falhas "forward"

Já o problema de falha no sistema de frenagem é detectado justamente ao final de cada ciclo, na etapa em que o mandril é parado para retirada das bobinas. Portanto uma recuperação de falha "backward", mostrada na Figura 26, deve ser utilizada. Porém isto

não quer dizer que o processo será totalmente refeito, já que está falha não provoca perda das bobinas. Este tipo de tratamento é sugerido pela simples razão de que o defeito é detectado em um estado específico, neste caso o da frenagem do mandril.

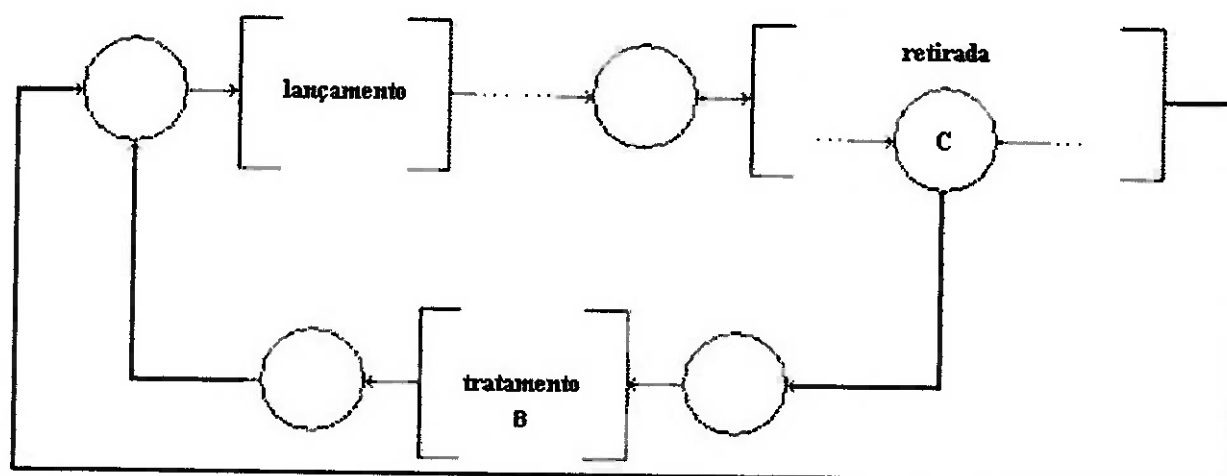


Figura 26 – Aplicação da recuperação de falhas "backward"

Decidido desta forma, volta-se para o estudo dos procedimentos para recuperação das falhas efetivamente.

Para o caso da entrada de refugo no mandril, came e/ou rolo ranhurado o equipamento deve parar, desligando seus motores e voltando à sua posição inicial, entrando em um modo de espera até que um operador esteja disponível para desmontar o componente afetado, limpá-lo ou trocá-lo, se necessário, montá-lo novamente e, finalmente, voltar ao processo normal. A Figura 27 mostra o modelo deste caso.

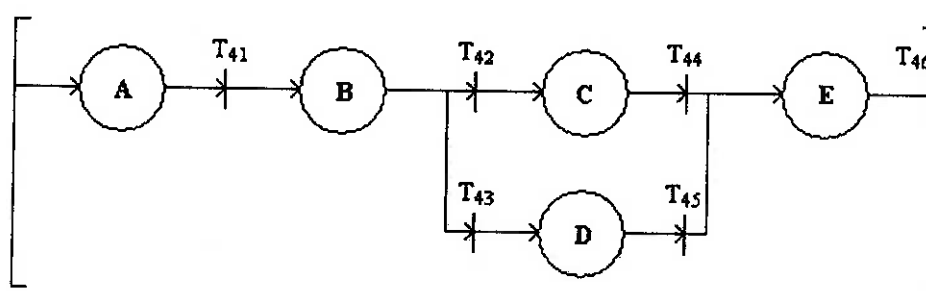


Figura 27 – Atividade [tratamento A1]

Os LUGARES da Figura 27 são definidos do seguinte modo:

- A: procedimento de parada do equipamento.
- B: desmontagem do componente.
- C: limpeza do componente.

- D: troca do componente.
- E: montagem do componente.

As TRANSIÇÕES são detalhadas a seguir:

- T_{41} : operador disponível.
- T_{42} : componente pode ser recuperado apenas com limpeza do refugo.
- T_{43} : componente não pode ser recuperado na área.
- T_{44} : limpeza realizada.
- T_{45} : troca realizada.
- T_{46} : componente montado.

Para o caso de quebra ou travamento de rolamentos, o mesmo procedimento de parada do equipamento é necessário, porém o operador deve trocar o componente avariado, pois não existe uma solução melhor dado que a troca dos rolamentos em área causaria muitos prejuízos devido ao tempo necessário para esta atividade. A Figura 28 mostra a modelagem para este tratamento.

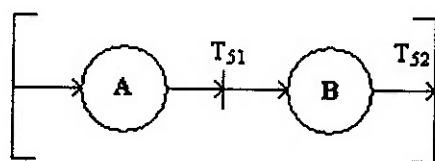


Figura 28 – Atividade [tratamento A2]

Os LUGARES presentes na Figura 28 são:

- A: procedimento de parada do equipamento.
- B: troca do componente.

As TRANSIÇÕES são detalhadas a seguir:

- T_{51} : operador disponível.
- T_{52} : componente trocado.

Quando é detectado algum problema de frenagem do mandril, o operador deve retirar a bobinadeira da célula, analisar se o problema ocorrido foi com o conjunto sapata / polia ou com os pistões e trocar o componentes defeituoso, inserindo a bobinadeira na célula novamente e prosseguindo então o processo a partir daí. A modelagem deste procedimento é apresentada na Figura 29.

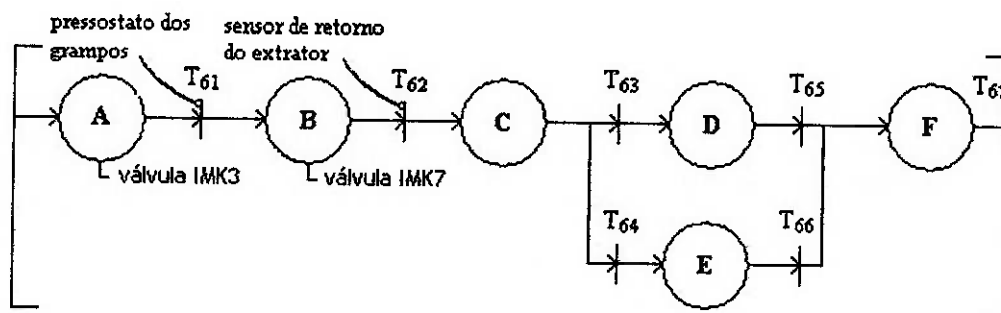


Figura 29 – Atividade [tratamento B]

Os LUGARES da Figura 29 são os seguintes:

- A: bobinas liberadas.
- B: extrator acionado e retirada das bobinas.
- C: retirada da bobinadeira da célula.
- D: troca da sapata.
- E: troca dos pistões.
- F: montagem da bobinadeira.

Já as TRANSIÇÕES:

- T₆₁: pressostato da linha dos grampos de fixação das bobinas desativado e botão extrator acionado.
- T₆₂: sensor de retorno do extrator ativado.
- T₆₃: sapata gasta.
- T₆₄: pistão com defeito.
- T₆₅: sapata trocada.
- T₆₆: pistão trocado.
- T₆₇: bobinadeira pronta.

4.4.7 Modelagem do Processo de Identificação das Falhas

O modelo para o processo de identificação das falhas é baseado no disparo inverso das TRANSIÇÕES é ilustrado na Figura 30. Neste modelo os LUGARES na parte inferior do modelo estão associados aos sinais dos sensores. Assim, através do disparo inverso das TRANSIÇÕES consegue-se obter a MARCAÇÃO inicial e deste modo, concluir qual a causa mais provável da falha e qual a ação corretora que deverá ser executada para recuperar o equipamento do estado de falha.

Os sinais dos sensores da bobinadeira que estão sendo usados e outros meios para detectar as falhas são os pressostatos (P_{16}), a inspeção visual (P_{17}), a medição de vibrações (P_{18}), pelo nível de ruído (P_{19}) e pelo sensor de velocidade (P_{20}). Os LUGARES P_{11} até P_{15} e as TRANSIÇÕES t_8 até t_{13} correspondem ao trecho que identifica a falha que está ocorrendo na bobinadeira. O LUGAR P_8 corresponde ao padrão de vazamento de ar, no LUGAR P_9 o levantamento é ruído e vibrações no rolamento e o LUGAR P_{10} corresponde que o tempo de parada não corresponde com o determinado.

Com os levantamentos determinados é possível definir as causas da falha, elas são identificadas nos LUGARES P_5 , que determina que há refugo no mandril, P_6 , que corresponde à falha desgaste no rolamento, e P_7 , que corresponde à falhas no freio.

Após identificar as falhas, executa-se o respectivo tratamento. Em relação ao refugo no mandril, realizar a limpeza do próprio (P_2), para o desgaste de rolamentos deve-se trocá-los (P_3) e para as falhas nos freios deve-se trocar o componente com problema (sapata gasta ou pistão danificado) (P_4), todas estas ações necessitam a intervenção humana.

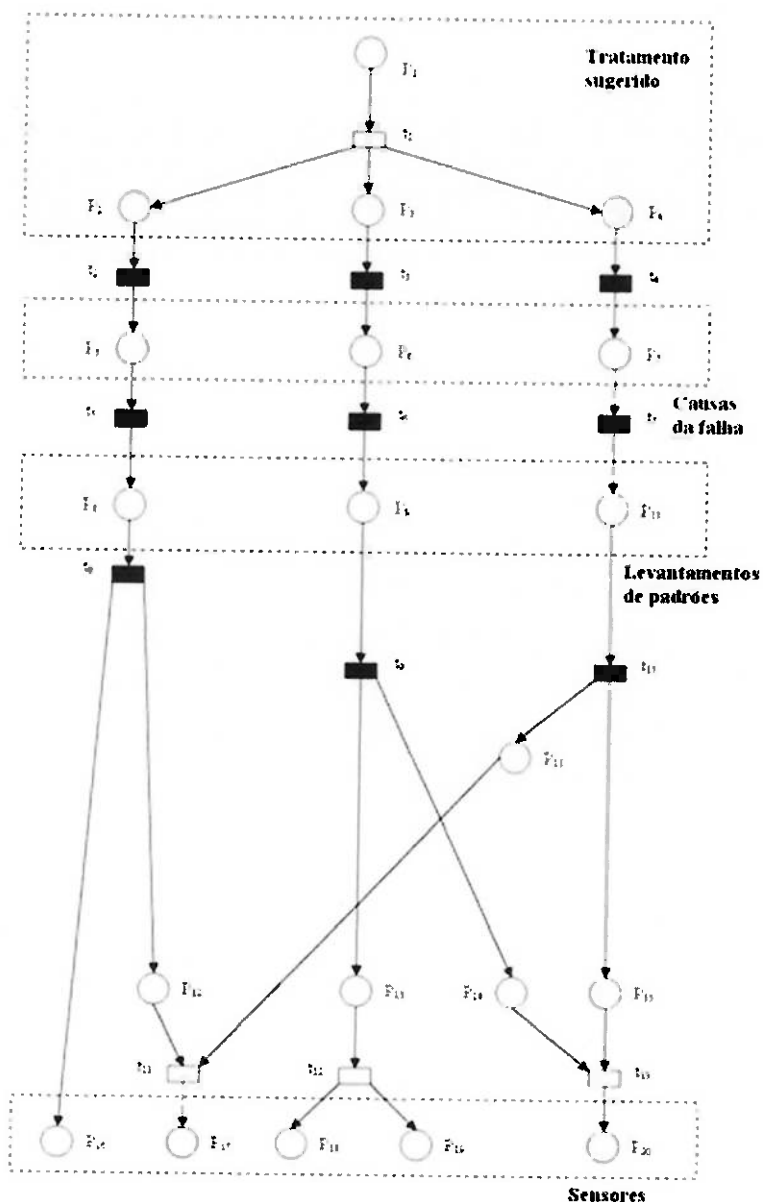


Figura 30 – Malha de diagnóstico das falhas

No caso de TRANSIÇÕES t_{OR} com duas condições de entrada (t_{13} , t_{15}) existe um critério específico para o disparo de cada TRANSIÇÃO, em geral ligados a procedimentos de inteligência artificial (AI).

- Para disparar t_{11} deve ser identificado se a causa da falha é o acúmulo de refugo ou a divergência do tempo de parada do mandril com a esperada.
- Para disparar t_{13} deve ser identificado se o sensor de velocidade está acusando a divergência do tempo de parada do mandril com a esperada ou problemas com o rolamento.

O passo final é associar a MARCAÇÃO dos LUGARES na RdPP com o peso de ARCOS-SM na rede RdP-central-E da bobinadeira. Assim associa-se a MARCAÇÃO dos

LUGARES P_2 , P_3 , P_4 na RdPP (Figura 30) com o peso dos ARCOS-SM P_y , P_z , P_w na RdP-central-E.

4.4.8 Integração das Redes

Os três tipos de modelos são distribuídos da seguinte forma para este exemplo de aplicação:

- RdP-central: é composta pelo sistema cíclico lançamento-enrolamento-retirada apresentado na Figura 21 e detalhado nas Figuras 22, 23 e 24.
- Sub-redes: são as redes de tratamento de falhas apresentadas nas Figuras 25 e 26 e detalhadas nas Figuras 27, 28 e 29.
- Bloco RdPP: é a malha de detecção de falhas, vista na Figura 30.

Aplicando estas definições à rede vista na Figura 12, chega-se à RdPD que integra todo o modelo em uma única rede.

5. Conclusões

Pode-se concluir que a aplicação do método de modelagem da máquina envolve conhecimento do equipamento e estudos adicionais para o levantamento das falhas a partir de uma análise de modos e efeitos das falhas, análise de risco e frequência das falhas e análise de confiabilidade dos componentes e da máquina para a tomada de decisão em relação ao foco nas falhas.

Quanto ao exemplo de aplicação considerado (a bobinadeira), este confirmou a flexibilidade e eficácia do método, já que, apesar de ser um equipamento que exige muita intervenção humana no caso da ocorrência de falhas, obteve-se um modelo que retrata claramente e detalhadamente os tratamentos a serem conduzidos. Para casos de equipamentos mais automatizados e que permitam a alteração de parâmetros como medidas corretivas mais simples, este método pode ser melhor explorado e certamente apresentaria resultados superiores.

Inicialmente esperava-se validar a modelagem desenvolvida neste trabalho em um software de simulação. Porém, a ausência de uma ferramenta específica que atendesse as características necessárias para a complexidade das redes a serem integradas inviabilizou tal estudo. Nota-se a necessidade de se desenvolver um programa para a edição e simulação das redes de Petri envolvidas no método desenvolvido neste trabalho.

Por fim, conclui-se que o método de modelagem de máquinas considerando tratamento de falhas desenvolvido neste trabalho tem um grande potencial para aplicação na indústria. Atualmente as tecnologias para manutenção preventiva vêm evoluindo e, se modelos mais abrangentes (incluindo falhas) estivessem disponíveis, pode-se tornar todo o processo de monitoração e restauração das máquinas mais simples, eficaz e direcionado.

Bibliografia

- [1] Miyagi, P. E.; Riascos, L. A. M. – **Modeling and Analysis of Fault-Tolerant Systems for machining Operations Based on Petri Nets**, Control Engeneering Practice, Elsevie Science, Oxford, UK, vol. 14, nº 4, pp. 397-408, 2006.
- [2] Portugal, P. J. L. M. – **Avaliação da Confiança no Funcionamento de Redes de Campo - Contribuição no Domínio dos Sistemas Industriais de Controlo**, Porto, 2005. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [3] Riascos, L. A. M. – **Modelagem do Tratamento de Falhas em Sistemas de Manufatura através de Redes de Petri**, São Paulo, 1998. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- [4] Riascos, L. A. M. - **Metodologia para Detecção e Tratamento de Falhas em Sistemas de Manufatura através de Rede de Petri**, São Paulo, 2002. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- [5] Aviziens, A.; Laprie, J.; Randell, B.; Landwehr, C. - **Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing**, IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, vol. 1, no. 1, pp. 12-22, 2004.
- [6] Moubray, J. - **Reliability-centred Maintenance**, Aladon Ltd, Leicestershire, 1997.
- [7] Miyagi, P. E. – **Introdução à Simulação Discreta**, Apostila, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- [8] Miyagi, P. E. - **Controle Programável: Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos**, Edgar Blücher, São Paulo, 1996.

Anexo 1 – RdP Procedural (RdPP)

Define-se a RdP procedural = $\{P, T, I, O\}$, onde [3]:

- P é um conjunto finito de LUGARES. O estado inicial da máquina está representado na MARCAÇÃO final e as conclusões finais do diagnóstico estão representadas na MARCAÇÃO inicial. Entretanto, é necessário que todo LUGAR da rede ($p_i \in P$) tenha apenas um ARCO de entrada e um de saída. Esta definição corresponde à definição de “*marked graphs*”.

$\forall p \in P$, tem-se: $|\bullet p| \leq 1$ e $|p \bullet| \leq 1$, onde: $\bullet p (p \bullet)$ são os pré-eventos (pós-eventos) cujos ARCOS de saída para o (ou cujos ARCOS de entrada saem do) LUGAR p .

$\forall p_1, p_2 \in P$, se $\bullet p_1 = \bullet p_2$ e $p_1 \bullet = p_2 \bullet$ então $p_1 = p_2$.

- I : função que define os ARCOS de entrada das TRANSIÇÕES.
- O : função que define os ARCOS de saída das TRANSIÇÕES.
- $T = T_n \cup T_{OR}$, onde $T_n \cap T_{OR} = \emptyset$. $t \in T_n$ é uma TRANSIÇÃO como normalmente definida em RdP e T_{OR} é um tipo de TRANSIÇÃO que modela situações onde uma instância particular pode ser determinada por causas alternativas, enquanto é mantida a segurança das outras operações. A equivalência entre as TRANSIÇÕES T_{OR} e T_n é ilustrada na Figura 31. Nas RdPP não são permitidas TRANSIÇÕES (T_n ou T_{OR}) com múltiplas entradas e múltiplas saídas, simultaneamente, isto é [3]:

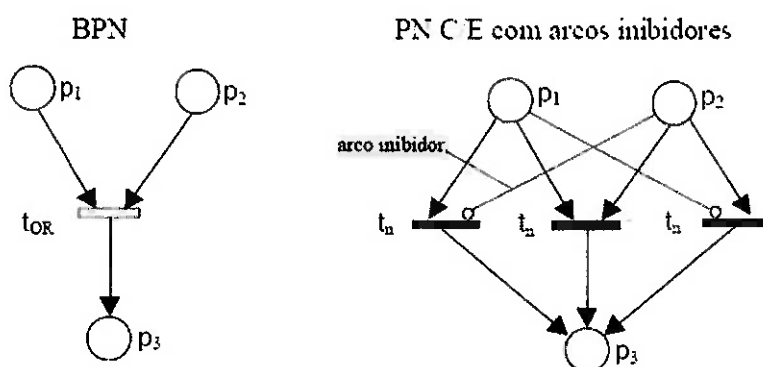


Figura 31 - Equivalência entre as TRANSIÇÕES T_{OR} e T_n

$\forall t \in T_N$ tem-se: se $|t^*| \geq 1$ então $|^*t| = 1$ ou se $|^*t| \geq 1$ então $|t^*| = 1$.

tem-se: $|^*t| \geq 2$ e $|t^*| = 1$, onde *t (t^*) são as pré-condições (pós-condições) de t .

A construção de um modelo de diagnóstico é realizada na direção causas $\Rightarrow$ efeitos. Em outras palavras, uma vez conhecidas as causas de um problema podem ser definidas quais as manifestações observadas (efeitos) são devidas a estas causas. No entanto, o problema do diagnóstico é basicamente um problema abductivo, ou seja, baseados nos efeitos observados, quais poderiam ser as causas que estão produzindo estes efeitos (relação efeito $\Rightarrow$ causa). Ou seja, deve-se realizar um processo inverso à ANÁLISE DE ALCANÇABILIDADE. A partir de uma MARCAÇÃO (M_i) obter a MARCAÇÃO (M_{i-1}) da qual foi alcançada, até cumprir o objetivo final do processo, encontrar a MARCAÇÃO inicial (M_0) [3].

A regra de disparo inverso das TRANSIÇÕES T_{OR} e T_n é ilustrada na Figura 32, onde são descritos casos típicos de grafos que indicam os efeitos (à esquerda do sinal “ $\Rightarrow$ ”) e as suas possíveis causas (à direita do sinal “ $\Rightarrow$ ”). Na figura 9 é apresentado um tipo de MARCA, definida como MARCA INIBIDORA ou MARCA nula, a qual representa condições não satisfeitas. Quando um LUGAR é MARCADO com este tipo de MARCA, a instância representada pelo LUGAR é ausente ou negada, em outras palavras, um LUGAR com este tipo de MARCA equivale a um LUGAR sem MARCA [3].

Segue uma explicação resumida das MARCAS [3]:

- MARCA “preta” ou normal, que representa uma condição satisfeita.
- MARCA INIBIDORA, que representa uma condição não satisfeita.

Esta MARCA nula é utilizada com o propósito de caracterizar o fluxo de MARCAS no modelo em RdPP que permite visualizar os seguintes fenômenos [3]:

- Durante a evolução da MARCAÇÃO, quando as MARCAS pretas se tornam MARCAS nulas;
- Evitar situações onde MARCAS pretas permanecem em LUGARES de entrada de uma TRANSIÇÃO sem atingir a MARCAÇÃO inicial.

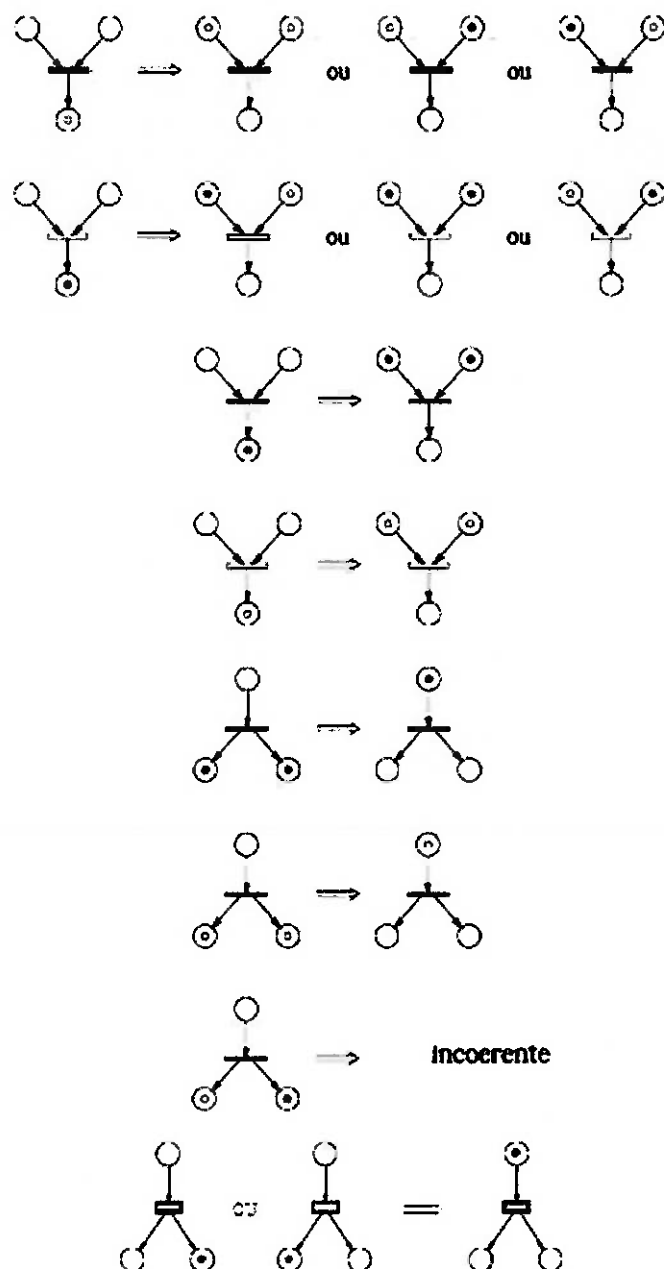
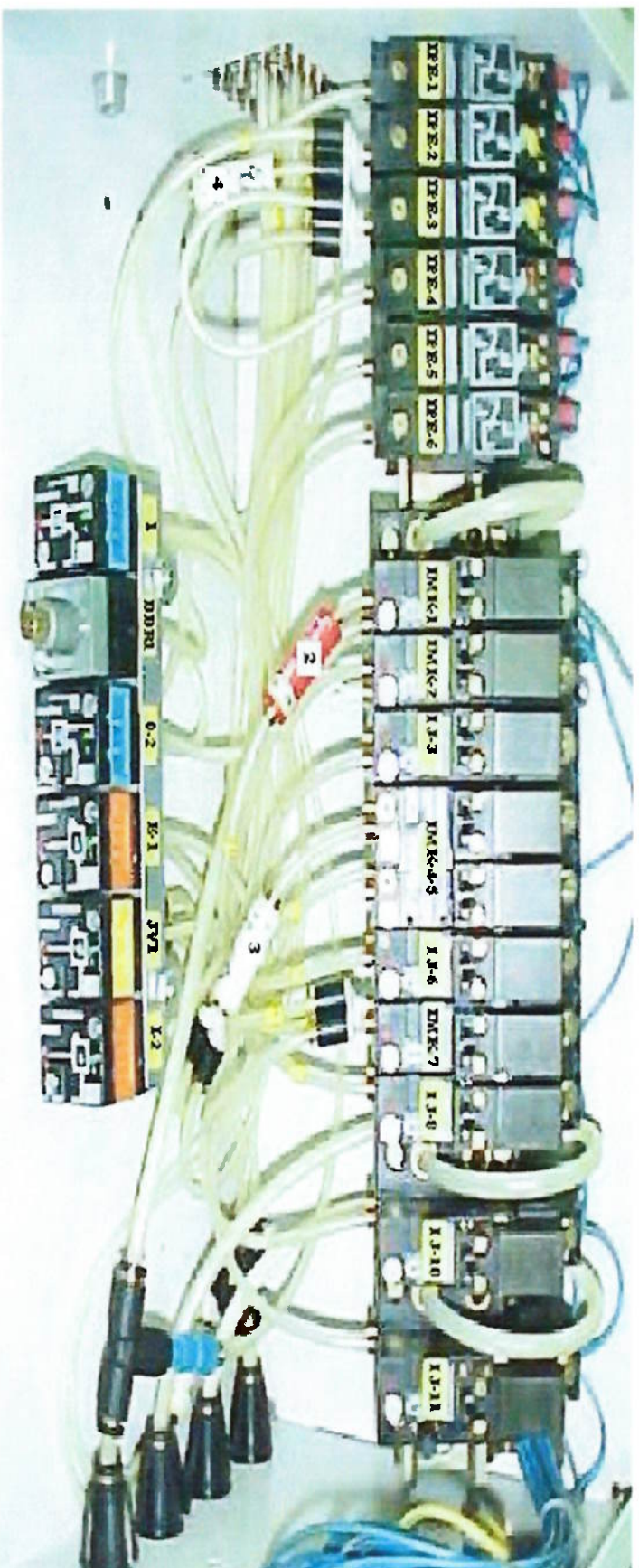


Figura 32 - Regras de disparo inverso na RdPP

Anexo 2 – Circuito Eletropneumático

Segue um detalhamento do circuito pneumático, com todas as válvulas e os pistões que elas controlam. Em seguida, acrescenta-se o diagrama pneumático completo da bobinadeira.



Válvula

Função

IPes Pressostatos

- IMK1 Libera freios do mandril, trava de segurança do cabeçote
- IMK2 Acionamento do cabeçote para baixo
- IMK3 Libera grampos de fixação do mandril
- IMK4 Posição de parada
- IMK5 Acionamento do braço lançador
- IJ6 Acionamento do pistão auxiliar
- IMK7 Acionamento do destaca bobina
- IJ8 Régua da reserva
- IJ10 Após desativado sensor, aciona nova pressão (2,8 bar)
- IJ11 Pressão inicial de enrolamento (2,9 bar)

Anexo 3 – Planilha dos Principais Defeitos

Esta planilha lista os principais e mais comuns defeitos que podem ocorrer em uma bobinadeira, bem como suas conseqüências, mensagens de alerta aplicados em cada caso e o processo requerido para tratamento do mesmo.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
1	Fazer o enrolamento do fio numa faixa de velocidade de trabalho entre 4200 a 5400 m/min.	A	Incapaz de fazer enrolamento a qualquer velocidade.	1	Gallet da borboleta quebrado.	O fio se quebra, interrompendo o enrolamento da bobina, acionando posteriormente o sensor da tesoura pneumática, desligando a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (detector de quebras acionado). A borboleta é substituída, com um tempo de parada de 30	
				2	Formação de refugo no mandril	Durante o enrolamento do fio a bobinadeira não pára, mas como acontece o travamento das pinças do mandril, a bobinadeira não pode ser relançada. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não liberado. P4 muito baixo. Vazamento no mandril). O tempo para substituição do mandril é de uma hora e quarenta minutos.	
				3	Quebra da correia da carne-foster / rolo ranhurado.	O sensor da carne detecta a falha e desarma a bobinadeira. A substituição da correia é feita em 30 minutos.	
				4	Rolamento da carne-foster danificado por formação de refugo.	Os níveis de vibração serão elevados a ponto de desarmar a bobinadeira pela ativação do sensor térmico do ranhurado. O tempo para troca da carne-foster é de 40 minutos.	
				5	Aquecimento do motor do ventilador de refrigeração do mandril provocado por refugo.	O sensor térmico do motor do ventilador de refrigeração do mandril desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador que a refrigeração foi desligada (disjuntor de proteção do motor para ventilação do fuso ativada). Para a verificação e retirada do refugo o tempo estimado é de 30 minutos.	
				6	Aquecimento do motor do ventilador de refrigeração do mandril provocado por danos no rolamento.	O sensor térmico do motor do ventilador de refrigeração do mandril desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador que a refrigeração foi desligada (disjuntor de proteção do motor para ventilação do fuso ativada). Para a verificação da ocorrência e/ou troca do motor de refrigeração o tempo estimado é de 1	
				7	Rolamento do motor do mandril danificado por excesso de vibração.	Os níveis de ruído e vibração serão elevados a ponto de desarmar a bobinadeira, em função da falta de sincronismo entre a bobina e o cilindro de pressão. O tempo para a troca da bobinadeira é de uma hora e quarenta minutos.	

FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA (Causa da falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
1 Fazer o enrolamento do fio numa faixa de velocidade de trabalho entre 4200 a 5400 m/min.	A Incapaz de fazer enrolamento a qualquer velocidade.	8 Rolamento do mandril danificado por excesso de vibração.	Os níveis de ruído e vibração serão elevados a ponto de desarmar a bobinadeira, em função da falta de sincronismo entre a bobina e o cilindro de pressão. O tempo para a troca do mandril é de 40 minutos.
		9 Cizalhamento da bucha de união dos eixos do mandril	Desarma a bobinadeira, em função da falta de sincronismo entre a bobina e o cilindro de pressão. O mandril devera parar apenas por inércia. O tempo para a troca do mandril é de 40 minutos.
		10 Rolamento do rolo ranhurado danificado por excesso de vibração.	Ver modo de falha 1A7.
		11 Rolamento do cilindro de pressão danificado por excesso de vibração.	Ver modo de falha 1A7.
		12 Desbalanceamento do cilindro de pressão por excesso de vibração.	Ver modo de falha 1A7.
		13 Aquecimento do rolo ranhurado por formação de refugo.	O sensor térmico do rolo ranhurado desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (disjuntor de proteção do motor vai-venr ativado) que a temperatura do rolo ranhurado está alta. O tempo estimado para sanar o problema é de 40 minutos.
		14 Aquecimento do rolo ranhurado por falta de ar de revindage.	O sensor térmico do rolo ranhurado desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (disjuntor de proteção do motor vai-venr ativado) que a temperatura do rolo ranhurado está alta. O tempo estimado para sanar o problema é de 40 minutos.
		15 Falha no sensor do extrator por ensimagem no cabo ou por erro no posicionamento do parafuso de regulagem.	A bobinadeira não entra em funcionamento . Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (dispositivo de extração não retorna IPE 6). Tempo para troca do sensor é de 20 minutos.
16 Falha no braço basculante por vazamento de ar.		17 Falha no braço basculante por problemas no pressostato.	A bobinadeira não entra em funcionamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (braço basculante não atingiu a posição esquerda IPE 5). Tempo para verificação ou substituição do pressostato é de 40 minutos.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
1	Fazer o enrolamento do fio numa faixa de velocidade de trabalho entre 4200 a 5400 m/min.	A	Incapaz de fazer enrolamento a qualquer velocidade.	18 Falha no braço basculante por problemas no motor pivotante.	A bobinadeira não entra em funcionamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (braço basculante não atingiu a posição esquerda IPE 5). Tempo para verificação e troca do motor pivotante é de 40 minutos.
				19 Falha no braço basculante por problemas na válvula pneumática (IBK 4/5).	A bobinadeira não entra em funcionamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (braço basculante não atingiu a posição esquerda IPE 5). Tempo para verificação e troca da válvula é de 40 minutos.
				20 Dispositivo de fixação das bobinas não é acionado por vazamento de ar (válvula IMK 3).	Os cascos ficam soltos não liberando a bobinadeira para funcionamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não acionado IPE 4). Tempo para intervenção é de 40 minutos
				21 Dispositivo de fixação das bobinas não é acionado por problemas no pressostato.	Os cascos ficam soltos não liberando a bobinadeira para funcionamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não acionado IPE 4). Tempo para verificação e troca do pressostato é de 40 minutos.
				22 Carter fora de posição por falha nos sensores.	Desarma a bobinadeira e/ou impossibilita o relançamento da mesma. Uma mensagem no monitor da máquina (carter do rolo ranhurado fora de posição) informa o operador. Tempo para intervenção é de 1 hora.
				23 Mandril não partiu por falha no sensor de proximidade.	O fuso não entra em funcionamento quando o carter sai da posição inicial, impossibilitando o lançamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (fuso não partiu). Tempo para troca do sensor de proximidade superior é de 1 hora.
				24 O carter não desce.	Impossibilidade de lançar a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (o carter do rolo ranhurado não desceu, pressão de encosto não acionada). Para sanar o problema é preciso checar inicialmente o cilindro de trava e as válvulas do circuito dos pistões do carter. Tempo estimado 40 minutos.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
1	Fazer o enrolamento do fio numa faixa de velocidade de trabalho entre 4200 a 5400 m/min.	A	Incapaz de fazer enrolamento a qualquer velocidade.	25	Acúmulo de refugo no rolo ranhurado ou no cilindro de pressão.	A bobinadeira desarma quando a régua de refugo aciona o sensor e um bastão de Nylon na cor vermelha é exposto. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (controlador mecânico de bobinagem acionado). É necessária a retirada do refugo e a verificação do posicionamento da régua. Tempo estimado 40 minutos.	
				26	Falha na transmissão de sinal do cilindro de pressão.	A bobinadeira desarma por falta de sincronismo entre o cilindro de pressão e o mandril. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (falha no controle do rolo pressor). É necessário verificar o sensor de RPM do cilindro B1 e o sensor do mandril B0. Posteriormente é verificado o inversor do mandril. Tempo estimado 1 hora.	
				27	Pressão de encosto abaixo do mínimo 2,90 kgf/cm (P2 e P3).	Desarma a bobinadeira em função da baixa pressão. Uma balança é utilizada para pesagem da bobinadeira, para ajuste da pressão e relançamento. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (pressão de encosto abaixo do mínimo P2 e P3). Tempo para verificação e pesagem é de 1 hora e 20 minutos.	
				28	Aquecimento do motor do mandril por formação de refugo..	O sensor térmico do motor do fuso desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (disjuntor do motor do fuso ativado). Para a verificação da ocorrência e/ou troca da bobinadeira o tempo estimado é de uma hora e quarenta minutos.	
				29	Falha na injeção de óleo na bobinadeira.	A bobinadeira desarma ou não entra em operação. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (válvula de injeção de óleo fechada). A verificação e/ou a substituição da válvula demora 30 minutos.	
				30	Falha na alimentação de ar comprimido à partir do bloco distribuidor.	A bobinadeira desarma indicando baixa pressão no painel. É necessária uma checagem de vazamento em todo o sistema pneumático à partir do bloco distribuidor. Tempo estimado é de 40 minutos.	
				31	Falha no inversor do rolo ranhurado.	A bobinadeira não é acionada ou pode ser desarmada. Tempo para verificação e troca do inversor é de 40 minutos.	

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
1	Fazer o enrolamento do fio numa faixa de velocidade de trabalho entre 4200 a 5400 m/min.	A	Incapaz de fazer enrolamento a qualquer velocidade.	32	Falha no inversor do motor do fuso.	A bobinadeira não é acionada ou pode ser desarmada. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (fuso não partiu). Tempo para verificação e troca do inversor é de 40 minutos.	
				33	Mau contato no plug do cabo de alimentação elétrica e sinal da bobinadeira (macho e fêmea).	A bobinadeira desarma. Uma mensagem no monitor informa o operador (plug da bobinadeira desconectado). Tempo para verificação dos cabos e/ou troca da bobinadeira é de 1 hora e 40 minutos.	
				34	Falha na placa de interligação entre o plug e os sensores da bobinadeira	A bobinadeira não pode ser acionada ou pode ser desarmada caso esteja em funcionamento. Várias mensagens no monitor da máquina informam o operador (mensagens relacionadas à sensores). Tempo para verificação e troca de placa e/ou da bobinadeira é de 1 hora e 40 minutos.	
				35	Interferência no sinal dos sensores provocado por ruído nos cabos de interligação da máquina para o painel dos inversores.	A bobinadeira desarma. Várias mensagens no monitor da máquina informam o operador (escorregamento, falta de sincronismo etc.). Tempo para verificação ou troca dos cabos é de 2 horas.	
				36	Falha no sensor de presença de fio.	A bobinadeira desarma, retornando à sua posição inicial. Uma mensagem no monitor informa o operador (sensor corta-fio acionado). Tempo para verificação e troca do sensor é de 40 minutos.	
				37	Falha no sensor de velocidade da came / rolo ranhurado.	Desarma a bobinadeira. Tempo para verificação e troca do sensor é de 30 minutos.	
				38	Falha no alinhamento dos guias.	A bobinadeira desarma, retornando à sua posição inicial. Uma mensagem no monitor informa o operador (sensor corta-fio acionado). Tempo para verificação e alinhamento é de 20 minutos.	
2	Posicionar braço de lançamento.	B	Enrolar o fio a uma velocidade fora dos limites de trabalho.	1	Falha na comunicação de dados da máquina.	Acarreta diferença de título e problemas de enrolamento provocando perda de qualidade do fio, gerando refugo. Tempo para verificação, reset do CLP de controle (master) e relançamento é de aprox. 2 horas	
				2	Erro de programação no monitor.	Acarreta diferença de título e problemas de enrolamento provocando perda de qualidade do fio, gerando refugo. Tempo para verificação e relançamento é de aprox. 6 horas.	
				1	Ver modos de falhas 1A16 / 17 / 18 e 19.		
3	Travar as bobinas do mandril.	A	Falha ao não travar as bobinas do mandril.	1	Ver modos de falhas 1A20 / 21.		

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
4	Liberar o freio do mandril.	A	Incapaz de liberar o freio do mandril.	1	Falha na válvula pneumática IMK 1.	O mandril não gira, impossibilitando a partida da bobinadeira. Tempo para verificação do circuito pneumático é de 40 minutos.
5	Resfriar o motor do mandril.	A	Falha ao não resfriar o motor do mandril.	1	Ver modos de falhas 1A5 / 6.	
6	Liberar a trava de segurança do cabeçote.	A	Não libera a trava de segurança do cabeçote.	1	Falha na válvula pneumática IMK 1 ao pressurizar o pistão indevidamente.	O carter não desce, impossibilitando a partida da bobinadeira. Tempo para verificação do circuito pneumático é de 40 minutos.
				2	Falha no pistão ou na alimentação de ar.	O carter não desce, impossibilitando a partida da bobinadeira. Tempo para verificação do circuito pneumático é de 40 minutos.
		B		1	Falha na válvula pneumática IMK 1 ao não pressurizar o pistão quando necessário.	Havendo a necessidade de parada para intervenção da manutenção, com o corte de alimentação de ar comprimido, o carter desce para a posição inferior. Tempo para verificação do circuito pneumático é de 40 minutos.
7	Liberar a movimentação vertical do cabeçote.	A	Não libera a movimentação vertical do cabeçote.	1	Ver modo de falha 1A 24.	
8	Permitir que o mandril gire no sentido horário.	A	Falha ao não permitir que o mandril gire no sentido horário.	1	Inversão de fases na ligação elétrica durante a manutenção.	A bobinadeira não faz o enrolamento do fio, impossibilitando o seu lançamento. Tempo para a solução do problema é de 40 minutos.
9	Manter a pressão de encosto em 2.90 Kgf/cm².	A	Falha ao permitir uma pressão abaixo de 2.90 Kgf/cm².	1	Falha na válvula I J 10.	Ver modo de falha 1A27.
		B	Falha ao permitir uma pressão acima de 2.90 Kgf/cm².	1	Falha na válvula reguladora.	Uma evidência seria o carter não descer, ou estacionar em qualquer altura do seu curso. Outra evidência está no defeito do fio percebido visualmente após o enrolamento. É necessário recalibrar a pressão da bobinadeira. Tempo estimado
10	Acionar o pistão auxiliar de contra pressão.	A	Não aciona o pistão auxiliar de contra pressão.	2	Falha no ajuste da válvula reguladora.	Uma evidência seria o carter não descer, ou estacionar em qualquer altura do seu curso. Outra evidência está no defeito do fio percebido visualmente após o enrolamento. É necessário recalibrar a pressão da bobinadeira. Tempo estimado
				1	Base do pistão quebrada.	Em função da falta de pressão não ocorre o sincronismo, desarmando a bobinadeira. Tempo para a troca da base é de 40 minutos.
11	Monitorar a velocidade do mandril através do cilindro de pressão entre 3 000 e 13 000 RPM.	A	Falha ao não monitorar qualquer velocidade do mandril.	1	Falha nos sensores de velocidade do cilindro ou do motor do mandril.	A bobinadeira desarma. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (Frequência aumentada! Escorregamento?). Para a identificação e troca do sensor com defeito, o tempo necessário é de 1 hora.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
11	Monitorar a velocidade do mandril através do cilindro de pressão entre 3 000 e 13 000 RPM.	A	Falha ao não monitorar qualquer velocidade do mandril.	2	Falha no inversor do motor do mandril.	A bobinadeira desarma. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (Frequência aumentada! Escorregamento?). Para a identificação e troca do inversor com defeito, o tempo necessário é de 1 hora.
12	Fazer sincronismo entre o mandril e o cilindro de pressão.	A	Falta de sincronismo entre o mandril e o cilindro de pressão.	3	Ver modo de falha 1A35	
		1	Ver modo de falha 11A1			
13	Indicar o ponto de lançamento do fio.	B	Falha ao não indicar a velocidade	1	Ver modo de falha 1A35	
		A	Incapaz de fazer qualquer indicação do ponto de lançamento.	1	Falha na indicação luminosa (Led).	Não acendendo o "Led", o operador aguarda para fazer o lançamento, acarretando um atraso de 6 minutos. Tempo para troca do Led é de 40 minutos.
14	Lançar o fio no casco.	A	Incapaz de lançar qualquer fio no casco.	1	Ver modos de falhas 1A16 / 17 / 18 e	
		2	Falha no botão de acionamento do braço.		O braço basculante não se desloca da esquerda para a direita, impossibilitando o lançamento do fio no casco. Tempo para substituição do micro-switch é de 30 minutos.	
		B	Lançar apenas parcialmente.	1	Casco fora da medida padrão.	O fio não é direcionado para a fenda da bobina, ocasionando falha de enrolamento e consequente perda de lançamento. Pode ocorrer também falta de formação de reserva sem perda de lançamento. Tempo para substituição das bobinas e/ou do lote de bobinas fora de padrão é de aproximadamente 30 minutos.
				2	Rabo de porco quebrado ou desalinhado.	O fio não é direcionado para a fenda da bobina, ocasionando perda de lançamento. Tempo para alinhamento e/ou substituição do rabo de porco é de 30 minutos.
15	Fazer o enrolamento da reserva entre de 300 a 500 ms.	A	Não faz o enrolamento reserva.	1	Braço basculante desalinhado ou quebrado. Ver também modo de falha 14B2.	O fio não é direcionado para a fenda da bobina, porém não causa perda de lançamento. Tempo para alinhamento e/ou substituição do braço basculante é de 30 minutos.
				2	Ver modo de falha 14B1	O fio não é direcionado para a fenda da bobina, porém não causa perda de lançamento. Tempo para substituição das bobinas e/ou do lote de bobinas fora de padrão é de aproximadamente 30 minutos.
				3	O aspira-fio não é posicionado no suporte.	Não faz o enrolamento na reserva do fio na última bobina. É necessário o relançamento da bobinadeira. O tempo gasto é de 6 minutos.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
15	Fazer o enrolamento da reserva entre de 300 a 500 ms.	B	Não faz o enrolamento da reserva de 300 a 500 ms.	1	Defeito na válvula de acionamento da régua da reserva do fio.	O tempo para a formação do fio na reserva é superior a 500 ms, provocando o acúmulo de fio no casco e o desarme da bobinadeira. Caso o tempo seja inferior a 300 ms, ocorre a formação de bobina reserva fora de padrão (3 voltas). O tempo para substituição ou regulação da válvula é de 30 minutos.	
				2	Defeito na régua da reserva por excesso de refugo.		
16	Lançar o fio na borboleta fazendo no mínimo 3 voltas de fio no casco antes do enrolamento principal formando a 2ª reserva..	A	Incapaz de lançar qualquer fio na borboleta.	1	Ver modo de falha 15B1.	Não faz o lançamento de apenas uma bobina. Tempo para substituição da régua é de 30 minutos.	
				2	Ver modo de falha 15B2.		
		B	Lançar parcialmente o fio nas borboletas.	1	Guia da régua desalinhada.		
		C	Não completar as 3 voltas da segunda reserva.	1	Válvula de acionamento da régua desregulada.		
17	Desativar o pistão auxiliar de contra pressão.	A	Incapaz de desativar o pistão auxiliar de contra pressão.	1	Defeito na válvula de acionamento (I J 6) do pistão.	Provoca defeito de enrolamento do fio. Caso não seja feito o reparo, no próximo lançamento provocará a quebra do pino de apoio ou a base do pistão, impedindo o sincronismo. Tempo para verificação e troca da válvula e/ou do cilindro é de 1 hora.	
18	Desativar a pressão de encosto (2,90 Kgf/cm ²) para permitir a atuação da pressão de enrolamento (2,85 Kgf/cm ²), quando o sensor inferior for desativado (ao atingir aprox. 20 mm de enrolamento).	A	Falha ao não desativar a pressão de 2,90 Kgf/cm ² .	1	Falha na válvula pneumática O1.	Causa defeito de enrolamento (fio torçado) gerando 2ª escolha do produto. Tempo para verificação e troca da válvula ou da bobinadeira é de uma hora e quarenta minutos.	
				1	Falha na válvula pneumática O1.	Ver modo de falha 18A1.	
				2	Falha na válvula pneumática O2.	Ver modo de falha 18A1.	
				3	Falha na válvula pneumática I J 11.	Ver modo de falha 18A1.	
				4	Falha na válvula pneumática DDR1.	Ver modo de falha 18A1.	
19	Distribuir o fio de maneira homogênea ao longo da bobina (brouillage) conforme tabela de escolha.	A	Incapaz de distribuir o fio de maneira homogênea ao longo da bobina..	1	Falha no inversor do rolo.	Ocorre defeito de enrolamento na bobina (inverjure) ou quebra do fio, gerando 2ª escolha. Tempo para verificação ou substituição do inversor é de 40 minutos.	
				2	Falha na programação dos parâmetros de brouillage.	Provoca defeito de enrolamento na bobina (por cabeçote ou por autonomia), gerando 2a. escolha. O tempo de checagem e correção da programação é de 6 horas.	
				1	Ver modo de falha 1A3		
20	Manter sincronismo entre o rolo ranhurado e carne.	A	Incapaz de manter o sincronismo entre rolo ranhurado e carne.	1	Ver modo de falha 1A3		

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
20	Manter sincronismo entre o rolo ranhurado e carne.	A	Incapaz de manter o sincronismo entre rolo ranhurado e carne.	2	Carne-foster e rolo ranhurado fora de ponto.	Ocorre defeito de enrolamento (fio torçado) gerando 2a. escolha. Tempo para ajuste do ponto ou substituição da correia é de 20 minutos.	
21	Fazer o enrolamento do fio numa faixa de 120 mm de largura em cada bobina sem deslocamentos laterais.	A	Não fazer o enrolamento do fio na faixa estabelecida.	1	Deslocamento do rolo ranhurado do fuso.	Falta de formação de reserva e acúmulo de sujeira na lateral da 1ª bobina. Tempo para verificação do alinhamento do fuso ou do rolo ranhurado é de 40 minutos.	
				2	Falha na colocação dos cascos no fuso.	Falta de formação de reserva e deslocamento da faixa de enrolamento. O último casco fica colocado projetando-se para fora do fuso. Tempo para refazer o lançamento é de 5 minutos.	
22	Voltar bobinadeira para posição superior.	A	Incapaz de voltar a bobinadeira para posição superior.	1	Travamento mecânico por falha no botão de acionamento.	O cabeçote não é desligado, continuando o enrolamento até que o sensor de diâmetro máximo desarme a bobinadeira. Tempo para troca do botão é de 20 minutos.	
				2	Travamento mecânico por falha no micro-switch.	O cabeçote não é desligado, continuando o enrolamento até que o sensor de diâmetro máximo desarme a bobinadeira. Tempo para troca do micro-switch é de 20 minutos.	
				3	Falha no circuito pneumático de alimentação do cilindro.	O carter não volta à posição inicial (superior) devido à falha nas válvulas O2 e I J 3, vazamento de ar na alimentação dos pistões, travamento nas colunas ou falha na vedação dos pistões. O tempo para verificação do sistema pneumático e substituição dos componentes é de 1 hora e 40 minutos.	
23	Desligar o motor do mandril.	A	O motor do mandril não desliga.	1	Travamento no sistema de acionamento (botão, micro-switch)	O mandril não para até que o sensor de bobina máxima seja acionado, ou qualquer fio seja rompido, ou o botão de corta fio seja acionado. Tempo para troca do botão ou do micro-switch é de 40 minutos.	
24	Acionar o sistema de freio.	A	O sistema de freio não é acionado.	1	Falha na válvula IMK 1.	O mandril deverá parar apenas por inércia. O tempo para verificação e substituição da válvula é de 40 minutos.	
				2	Falha na válvula LDR 2.	O mandril deverá parar apenas por inércia. O tempo para verificação e substituição da válvula é de 40 minutos.	
				3	Vazamento de ar pelas mangueiras.	O mandril deverá parar apenas por inércia. O tempo para verificação e substituição das mangueiras é de 30 minutos.	

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
25	Acionar trava de segurança da bobinadeira.	A	Falha ao não acionar a trava de segurança.	1 Bloqueio mecânico do cilindro pneumático e da trava de segurança do carter.	Esta falha só será notada quando houver falta de ar nos pistões e a trava permanecer bloqueada. Tempo para revisão no sistema e/ou troca dos pistões é de 40 minutos.
26	Soltar as bobinas do mandril.	A	Falha ao não soltar as bobinas do mandril.	1 Falha na válvula do circuito pneumático (IMK 7). 2 Falha na retração de um ou mais conjuntos de pinças de trava de bobina..	Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não funcionou). Tempo para a troca da válvula é de 40 minutos. As bobinas permanecem travadas exigindo que o mecânico corte a bobina e faça a substituição do mandril. Tempo para o corte da bobina e troca do mandril é de 1 hora.
27	Fazer a extração das bobinas.	A	Incapaz de extrair as bobinas.	1 Vazamento de ar no mandril por acúmulo de refugo. 2 Falha na válvula do circuito pneumático J1. 3 Falha nas válvulas do circuito pneumático JV1. 4 Travamento no botão de acionamento. 5 Falta de ensimgem no fio. 6 Falha em um dos pistões de extração. 7 Ver modo de falha 1 A 2.	Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não liberado. P4 muito baixo, vazamento no mandril?). O tempo para a substituição do mandril é de 1 hora. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não liberado. P4 muito baixo, vazamento no mandril?). O tempo para a troca da válvula é de 40 minutos. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não liberado. P4 muito baixo, vazamento no mandril?). O tempo para a troca da válvula é de 40 minutos. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de fixação das bobinas não acionado). O tempo para verificação e/ou substituição da botoeira é de 30 minutos. Em função do aumento de tensão no fio, há um estrangulamento do casco. O operador deve cortar o fio do casco para retomar o processo. Em seguida checar o sistema de ensimgem para o fio. O tempo total para esta tarefa é de 1 hora. As bobinas são retiradas pelo operador. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não funcionou). Tempo para a substituição dos pistões ou troca da bobinadeira é de 1 hora e 40 minutos.

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
28	Fazer com que o sistema receba um sinal de que o extrator de bobinas chegou até o fim de curso.	A Falha ao não enviar um sinal para o sistema, indicando que o extrator de bobinas chegou ao fim de curso.	1	Falha no pressostato do circuito pneumático (IPE 6).	O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não funcionou). Tempo para verificação e troca do pressostato é de 40 minutos.		
			2	Falha na válvula (IMK 7).	O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não funcionou). Tempo para verificação e troca das válvulas é de 40 minutos.		
			3	Não cumprimento do método operatório.	Após a retirada da última bobina o operador deve acionar o extrator até o final do seu curso. O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Tempo para refazer a operação é de 1		
			1	Falha no sensor (B8) de retorno do extrator.	O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não retorna). Tempo para verificação e troca do sensor é de 40 minutos.		
29	Liberar a bobinadeira para o relançamento quando o extrator retornar à posição inicial.	A Não liberar a bobinadeira para o relançamento.	2	Formação de refugo no extrator.	O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não retorna). Tempo para retirar o refugo é de 20 minutos.		
			3	Falha na regulação da altura do parafuso de ajuste de distância sensora.	O extrator volta à sua posição inicial mas a bobinadeira não volta a operar. Uma mensagem no monitor informa o operador (dispositivo de extração não retorna). Tempo para regular a altura do parafuso é de 20 minutos.		
			1	Ver modo de falha 13 A 1.			
0	Desarmar a bobinadeira após 3 minutos de sincronismo caso não haja fio lançado no casco.	A A bobinadeira não desarma após 3 minutos.	1				
1	Desarmar bobinadeira ao atingir o diâmetro máximo de 470 mm.	A Não desarmar a bobinadeira ao atingir o diâmetro máximo.	1	Falha no sensor de diâmetro máximo.	A bobinadeira segue fazendo o enrolamento até que o carter trave mecanicamente pelo contato entre o cilindro pressor e a bobina, provocando o desarme da bobinadeira por sobrecarga. Tempo para o corte das bobinas e/ou posterior troca da bobinadeira é de 2 horas.		

FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
32	Indicar falha no sistema de injeção de óleo lubrificante.	A	Não indicar falha no sistema de injeção de óleo.	1	Falha no sistema de alarme sonoro.	Para esta falha, associada ao monitor inoperante, o programa inicia automaticamente uma contagem regressiva de 180 minutos que ao seu término desarma todas as bobinadeiras. Este fato acarretará perda significativa de 2 horas de parada gerando aproximadamente 720 kg de produto refugado, com um prejuízo de KUS\$ 5,0.
33	Desarmar a bobinadeira quando o motor do ventilador de refrigeração do mandril superaquecer.	A	Não desarmar a bobinadeira quando o motor do ventilador de refrigeração do mandril superaquecer.	2	Monitor inoperante por queima do circuito.	Esta falha associada a falha no sistema de alarme, o programa inicia automaticamente uma contagem regressiva de 180 minutos que ao seu término desarma todas as bobinadeiras. Este fato acarretará perda significativa de 2 horas de parada gerando aproximadamente 720 kg de produto refugado, com um prejuízo de KUS\$ 5,0.
				1	O sensor térmico não atua.	Ocorrerá a queima do motor de refrigeração e consequente aquecimento e desarme do motor do mandril. Tempo para troca do motor de refrigeração é de 40 minutos.
34	Desarmar a bobinadeira quando o rolo ranhurado superaquecer.	A	Não desarmar a bobinadeira quando o rolo ranhurado superaquecer.	1	O sensor térmico não atua.	Ocorrerá a queima do rolo ranhurado. Tempo para troca do rolo ranhurado é de 1 hora.
35	Desarmar bobinadeira quando enrolar fio no cilindro de pressão ou rolo ranhurado.	A	Não desarmar bobinadeira quando enrolar fio no cilindro de pressão ou rolo ranhurado.	1	O sensor da régua de refugo não atua.	Ocorrerá o acúmulo de fio no cilindro de pressão ou no ranhurado provocando danos aos componentes (quebra da correia, travamento do rolamento, danos na superfície do rolo). Tempo para a retirada de refugo e/ou troca da bobinadeira é de 2 horas.
36	Desarmar a bobinadeira quando o motor do mandril superaquecer.	B	Desarmar a bobinadeira acidentalmente.	1	O sensor da régua de refugo atua indevidamente.	Desarma a bobinadeira. Uma mensagem no monitor da máquina informa o operador (controlador mecânico de bobinagem acionado). Tempo para troca do sensor é de 30 minutos.
		A	Não desarmar a bobinadeira quando o motor do mandril superaquecer.	1	O sensor térmico não atua.	Ocorrerá a queima do motor do mandril. Tempo para troca da bobinadeira é de 1 hora e 40 minutos.
37	Produzir fio com qualidade dentro da Norma de Escolha Comercial do Fio Têxtil Nylon.	A	Falha ao não produzir o fio com qualidade.	1	Camisa do rolo ranhurado danificado.	O contato entre o fio e a superfície do rolo ranhurado causa problemas como *pelo*, *boucler*, ou *excesso etapa de escolha do fio. A quebra ou rompimento do fio só ocorre durante o processo de enrolamento. É necessária a troca do rolo ou da bobinadeira. O tempo para troca do rolo é de 1 hora. Caso seja necessária a troca da bobinadeira o tempo é de 1
				2	Ver modos de falha 14-B-1 e 2	
				3	Ver modos de falha 15-A-1, 2 e 3.	

FUNÇÃO

37	Produzir fio com qualidade dentro da Norma de Escolha Comercial do Fio Têxtil Nylon.	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA (Causa da falha)	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
		A Falha ao não produzir o fio com qualidade.		
			4 Ver modos de falha 15-B-1 e 2	
			5 Ver modo de falha 16-C-1	
			6 Ver modo de falha 17-A-1	
			7 Ver modos de falha 18-A-1	
			8 Ver modos de falha 18-B-1, 2, 3 e 4.	
			9 Ver modos de falha 19-A-1 e 2.	
			10 Ver modo de falha 20-A-2	