

# ASPERSÃO DE POLÍMERO SOBRE VAGÕES QUE TRANSPORTAM MINÉRIO DE FERRO<sup>1</sup>

Michael Gomes Rogana<sup>2</sup>  
William Maia<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho sugere uma técnica inovadora de tratar o transporte de vagões com minério de ferro. Seu desenvolvimento foi baseado em projeto da CVRD. Esta técnica inovadora visa a redução da poluição ambiental e da perda de carga através do uso de automação industrial. A solução desenvolvida para evitar a dispersão das partículas de minério de ferro foi a de aspergir sobre os vagões, logo após o carregamento dos vagões, uma substância a base de polímero. Este polímero tem a propriedade de fazer com que as partículas de minério de ferro da camada superficial do vagão aglutinem-se, tornando-se mais pesadas e conseqüentemente menos propensas à dispersão. Para o desenvolvimento e implantação do projeto foi utilizado um sistema eletromecânico de aspersão, toda instrumentação necessária, controlador lógico programável (CLP) e uma estação de supervisão.

**Palavras-chave:** Aspersão; Automação; Poluição.

## POLYMER ASPERSION OVER TRAIN WAGONS FOR IRON ORE TRANSPORTATION

## Abstract

This work suggests an innovative technique of dealing with the transportation of iron ore. This technique aims to reduce environmental pollution as well as loss of transported cargo. The present work was projected by the MBR team, based on a Vale do Rio Doce project. The developed solution consist in aspersing over the containers right after they have been loaded, using a substance made of polymer. This is a gelatinous substance with the appearance of glue that does not alter the characteristics of the iron ore and that causes the iron particles on top of the container to stick together, therefore becoming heavier and consequently less likely to disperse. To develop and implement the project it was used an electro-mechanical system of aspersion, necessary instrumentation, a Programmed Logical Controller and a supervisory station.

**Key words:** Aspersion; Automation; Pollution.

---

<sup>1</sup> Trabalho técnico apresentado ao X Seminário de Automação de Processos, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG.

<sup>2</sup> Formado em Engenharia de Controle e Automação pela PUC-MG, Pós-graduado em Informática Aplicada e mestrando em Modelagem Matemática e Computacional pelo Cefet-MG.

<sup>3</sup> Técnico em Mecânica Industrial pelo E.E.T.I.F.F. e formado em Engenharia Elétrica pela PUC-MG.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de mineração consiste, em linhas gerais, na extração, beneficiamento, estocagem e transporte, etapas que por sua vez geram empregos, renda e impostos que trazem contribuição à sociedade.<sup>(1)</sup>

Na etapa de beneficiamento o minério de ferro é classificado e separado em vários tipos distintos em função de suas características físico-químicas como granulometria, concentração de sílica, alumina, ferro.

Na etapa de estocagem, usualmente, o minério de ferro é empilhado em pilhas de igual ou similar característica físico-química visando facilitar o processo de *retomada*<sup>4</sup> e transporte.

Na etapa de transporte o minério de ferro é retomado da pilhas e transportado até os vagões que constituem a composição<sup>5</sup> transportada pela locomotiva. De acordo com a ordem de compra solicitada pelo cliente final tem-se a informação das características do minério de ferro a ser transportado. Uma composição pode ser completamente homogênea, oriunda de um mesmo tipo de minério de ferro, ou mista.

É no processo de transporte de minério de ferro que reside o foco deste artigo. Os materiais de mais baixa granulometria são mais vulneráveis às condições atmosféricas do transporte, como vento e chuva. Estes fatores podem fazer com que haja perda de carga e, principalmente, haja poluição ambiental causada pela partículas de minério de ferro suspensas na atmosfera.

## 2 A SOLUÇÃO

Visando a redução da perda de carga, a solução desenvolvida foi a de aspergir sobre os vagões, logo após o carregamento dos vagões, uma substância a base de polímero<sup>6</sup>. Este polímero tem a propriedade de fazer com que as partículas de minério de ferro da camada superior do vagão aglutinem-se, tornando-se mais pesadas e conseqüentemente menos propensas à dispersão.

Para a implantação desta solução foram necessários os seguintes equipamentos:

- Haste de aspersão com comando eletropneumático e bicos para aspersão;
- Sensores foto-elétricos, cada qual com sua funcionalidade;
- 5 bombas centrífuga;
- 1 compressor de ar;
- 1 válvulas eletropneumáticas para elevação da haste de aspersão;
- 2 sensores indutivos para detecção de fim-de-curso de haste de aspersão;
- 2 válvulas eletropneumáticas de recirculação;
- 2 válvulas solenóides de aspersão;
- 1 painel de controle pneumático;
- 1 atuador pneumático p/ a haste de aspersão;
- 3 tanques ( um de polímero, um de água e um de mistura );

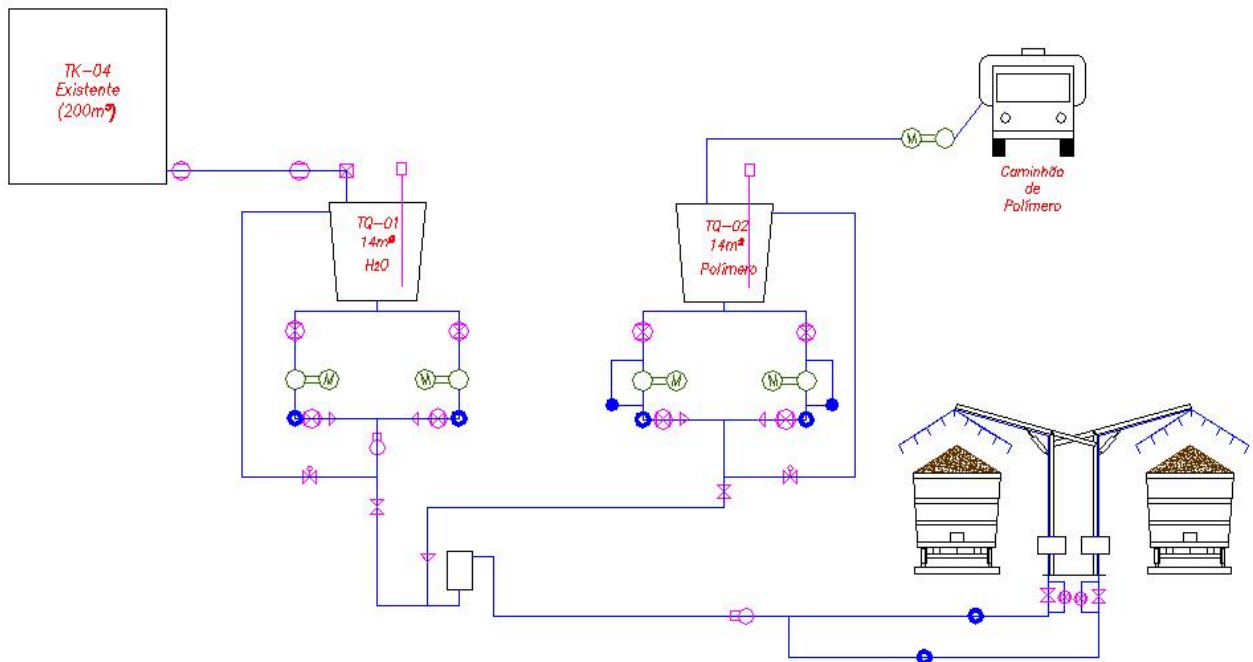
---

<sup>4</sup> O processo de *retomada* consiste em extrair o minério de ferro das pilhas. Usualmente este processo é realizado por um equipamento denominado *retomadora* ( *reclaimer* ).

<sup>5</sup> *Composição* é o nome dado a um conjunto de vagões tracionados por uma locomotiva.

<sup>6</sup> *Substância composto* cuja molécula é constituída pela associação de diversas moléculas de outros compostos mais simples (2). Tem características de cola.

- instrumentos de medição (chaves de fluxo, medidores de nível e pressão, etc);
- 4 inversores de frequência e
- tubulações pertinentes às ligações dos instrumentos e bombas.



Fonte : Adaptado de documento fornecido pela MBR.

**Figura 1.** Diagrama de instrumentos do sistema de aspersão MBR – TFA, para 2 carregamentos simultâneos.

### 3 NECESSIDADES DO CLIENTE

O presente trabalho foi implementado na MBR (Minerações Brasileiras Reunidas) no ano de 2003 pelas empresas IHM Engenharia e Sistemas de Automação e ESN, em três carregamentos de vagões, dois deles simultâneos. O projeto foi baseado em um projeto piloto da CVRD (Companhia Vale do Rio Doce).

Para o desenvolvimento do projeto foram destacadas, pela MBR, as seguintes premissas para o seu funcionamento :

- O sistema de aspersão deve ser completamente automático, independente da ação do operador;
- A aspersão deve ser iniciada, automaticamente, em todos os carregamentos de materiais finos, como PFF;<sup>7</sup>
- O sistema de supervisão<sup>8</sup> e controle deve diferenciar locomotiva de vagão. Ao detectar a chegada a locomotiva e seus vagões deve elevar a haste de aspersão e não aspergir. Passada a locomotiva, assim que detectar a presença do primeiro vagão, deve começar a aspergir e terminar apenas no final do vagão.

<sup>7</sup> PFF é um acrônimo de Pelet Feed Fine, que é o tipo de minério de ferro de mais baixa granulometria da MBR.

<sup>8</sup> Hardware e software necessários para monitoração e comando do sistema de controle.

Portanto, em todos os intervalos entre vagões, a aspersão deve ser desligada e as bombas postas a recircular por motivo de economia de polímero.

- A velocidade da composição e detecção de movimento deverá ser estimada a fim de controlar a aspersão : na ausência de velocidade da composição, a aspersão é desligada e todas as bombas postas a recircular;
- A estação de supervisão<sup>9</sup> deve possuir toda as características básicas inerentes aos sistemas de supervisão (comandos, diagnósticos, estados, intertravamentos, históricos, analógicas, animações) e também a estimação da quantidade de polímero em termos de quantidade de composições;
- Para a implementação do sistema de controle<sup>10</sup> foi utilizada uma máquina de estados,<sup>11</sup> sendo que foi solicitado que houvesse uma condição chamada de *bypass* a qual simularia todos os eventos gerados, a fim de iniciar uma aspersão no meio de um carregamento de vagões e
- Devido às características pertinentes à máquina de estados, a falha de algum equipamento pode perpetuar a sequência da máquina. Esta situação deve ser contornada de forma que após sanada a falha de um determinado equipamento, através de um único comando de rearme, todo o processo continue de onde parou, sem qualquer intervenção.

## 4 DESCRIÇÃO DO PROJETO

Todos os equipamentos inerentes à aspersão de vagões foram instalados a cerca de cem metros da sala de controle, de onde o operador visualiza e comanda o carregamento de minério de ferro no vagão. A haste de aspersão foi posicionada de tal forma a ficar bem próxima a altura máxima teórica de um vagão preenchido por minério de ferro de menor densidade, ou seja, maior volume. Assim consegue-se uma maior penetração da mistura água/polímero e menor desperdício de produto. Devido ao fato da locomotiva ser maior que os vagões, tornou-se necessário que a haste de aspersão fosse construída de forma a garantir certo grau de liberdade de basculamento (para cima e para baixo).

### 4.1 Tanques e Bombas

Dois tanques são utilizados para armazenar água e polímero. O abastecimento de água é feito, automaticamente, por uma válvula controladora de nível , pilotada por bóia hidráulica. O abastecimento de polímero é feito através de um caminhão, de onde o polímero é bombeado até o tanque de polímero através de uma bomba centrífuga. Há um tanque intermediário para misturar água e polímero em suas devidas proporções. Uma bomba centrífuga, ou sua reserva, é utilizada para bombear a água do tanque até o tanque misturador. Outra bomba centrífuga, ou sua reserva, é usada para bombear

---

<sup>9</sup> Microcomputador, usualmente do tipo PC, através do qual o operador de um processo industrial visualiza todos os eventos e controla as variáveis e equipamentos do processo, em tempo real.

<sup>10</sup> Arquitetura integrada através do qual é realizada a programação e controle do processo. Os sistemas de controle contemplam usualmente CLP's, remotas, redes de comunicação, ou seja, todo o hardware que controla o processo.

<sup>11</sup> Modelagem de um comportamento, composto por estados, transições e ações. As máquinas de estados finitos foram originalmente definidas na Teoria de Autômatos.

polímero até o tanque misturador. As tubulações de polímero e água se encontram dentro do tanque misturador. As bombas de água e polímero são comandadas por inversores de frequência visando o controle de vazão para cada tipo de material. Um compressor é responsável pelo suprimento de ar comprimido para acionamento de todo sistema pneumático. As pressões de trabalho são controladas por um pressostato, que monitora e controla as pressões mínimas e máximas de trabalho do sistema.

## 4.2 Sensores

Os sensores são utilizados para coletar sinais do sistema de aspersão e enviá-los tratados ao CLP<sup>12</sup> e também à estação de supervisão, onde são disponibilizados na tela gráfica.

Dois sensores analógicos (4-20mA) de pressão são usados para indicação do nível de material nos tanques de água e polímero. Dois sensores de proximidade indutivos são usados para indicar posições fim-de-curso da haste de aspersão. Dois sensores fotoelétricos afixados no topo da haste de aspersão são usados para detecção da entrada e saída da locomotiva, respectivamente.

Quatro sensores fotoelétricos são utilizados na haste para fornecer todas as informações necessárias sobre os vagões: dois para verificação de sentido de locomoção da composição e detecção de movimento, dois para identificar se ocorreu um intervalo entre vagões. Alguns destes quatro sensores também são usados para medição da velocidade da composição e contagem do número de vagões aspergidos.

## 4.3 Válvulas

As válvulas controlam o fluxo de substâncias ao longo das tubulações. São usados dois tipos de válvulas no sistema de aspersão: manual e comandada. As manuais são para alimentação do tanque, desvio de fluxo (bypass). As comandadas são utilizadas pelo sistema de controle para comandar automaticamente a aspersão. As válvulas foram divididas conforme abaixo:

- Dez válvulas de esfera (manuais) são utilizadas neste sistema para bloqueio hidráulico;
- Uma válvula eletropneumática é utilizada elevar/abaixar a haste de aspersão;
- Duas válvulas eletropneumáticas de recirculação para os tanques de água e polímero e
- Duas válvulas solenóides de aspersão, usadas para cessar o fluxo de mistura água/polímero até os bicos de aspersão.

## 4.4 Haste de Aspersão

A haste de aspersão é usada, primordialmente, para aspergir a mistura água/polímero sobre o vagão. A haste tem a sua base vertical e dois “braços” triangulares, onde se localizam os bicos de aspersão, que conduzem a mistura água/polímero sobre alta

---

<sup>12</sup> CLP é um acrônimo de controlador lógico programável, também chamado de PLC (programmable logic controller). Este é um equipamento eletrônico, microprocessado e modular, através do qual pode-se programar todo o sequenciamento e controle dos equipamentos de um dado processo industrial.

pressão. O formato triangular garante um molde perfeito para a distribuição de minério de ferro no vagão. Estes “braços” triangulares são comandados pelo sistema de controle, podendo bascular para cima ou para baixo. Para evitar que choques possam danificar esta haste, esta foi construída com um determinado grau de liberdade (pode girar em torno do eixo da haste). Outra função da haste de aspersão é a de servir de suporte para os sensores fotoelétricos.

## **5 DESCRITIVO OPERACIONAL**

### **5.1 O Processo**

Depois de realizada a instalação de todos os componentes do sistema de aspersão, todos os equipamentos e sensores foram devidamente ajustados.

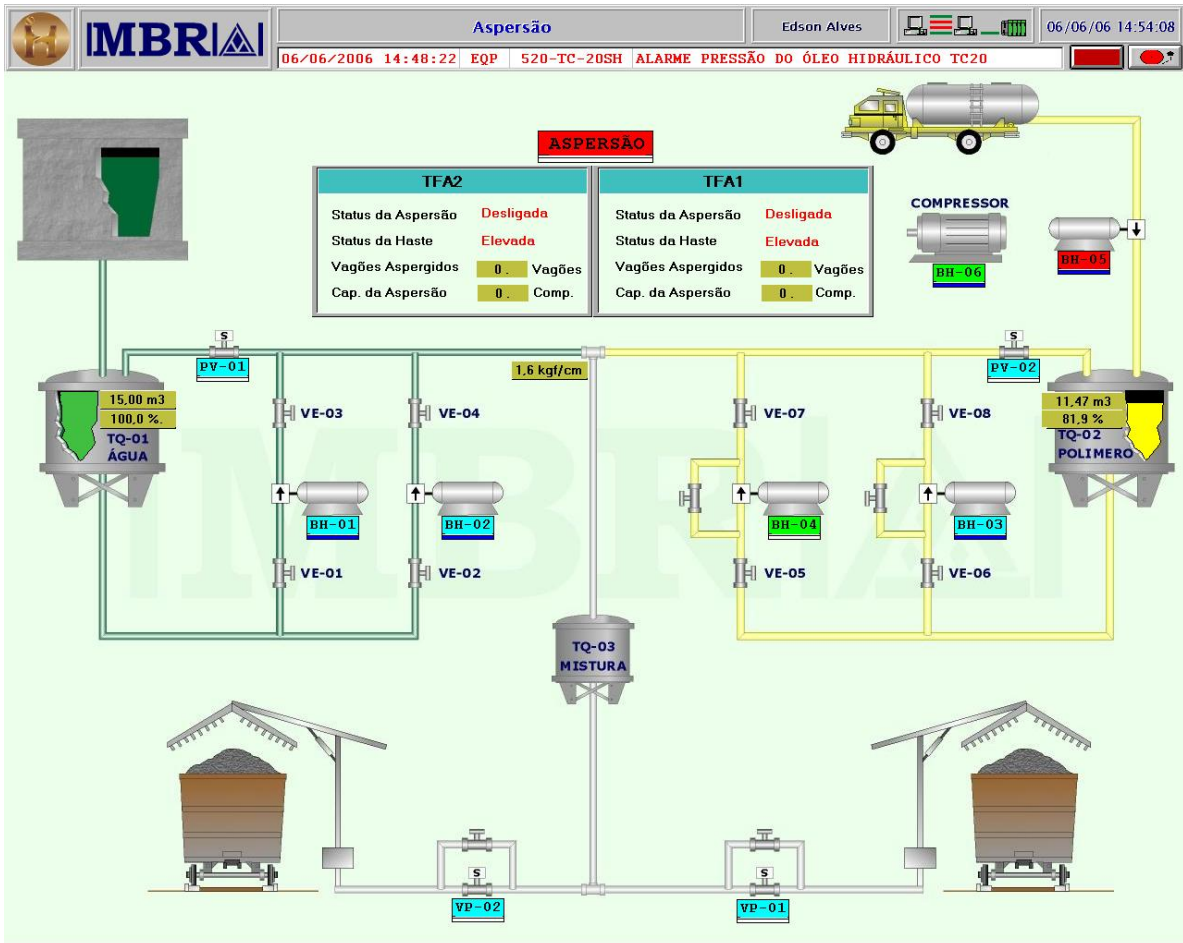
Todos os ajustes de sensores foram feitos levando-se em consideração que vários tipos de vagões distintos podem ser carregados. Estes vagões diferenciam-se em comprimento, largura, altura, largura das canaletas laterais, rugosidade, cor, etc. Portanto, os sensores fotoelétricos, que possuem ajuste de distância máxima de detecção, foram devidamente ajustados para os piores casos de distância sensor-vagão e largura do vagão. Os sensores fotoelétricos de detecção de locomotiva foram também ajustados de forma a não serem sensíveis às diferentes locomotivas.

Os bicos de aspersão possuem regulagem de pressão de mistura de saída, esta também foi devidamente ajustada de forma a garantir uma aspersão homogênea e uma total cobertura da camada de minério de ferro superior do vagão.

A pressão de controle da válvula eletropneumática de basculamento da haste de aspersão também foi devidamente ajustada para que o basculamento fosse amortecido, porém não muito lento. A relação de dosagem ótima água/polímero foi de 1% de água e 99% de polímero.

### **5.2 A programação**

Para a implementação do sistema de controle e supervisão do sistema de aspersão foi usada uma arquitetura caracterizada por um CLP da Rockwell, PLC5/40, e dois supervisórios: IHM-PRO e FactoryLink. No CLP o programa referente à aspersão de vagões foi feito junto ao programa existente do carregamento de vagões. A figura 2 mostra a tela da estação de supervisão.

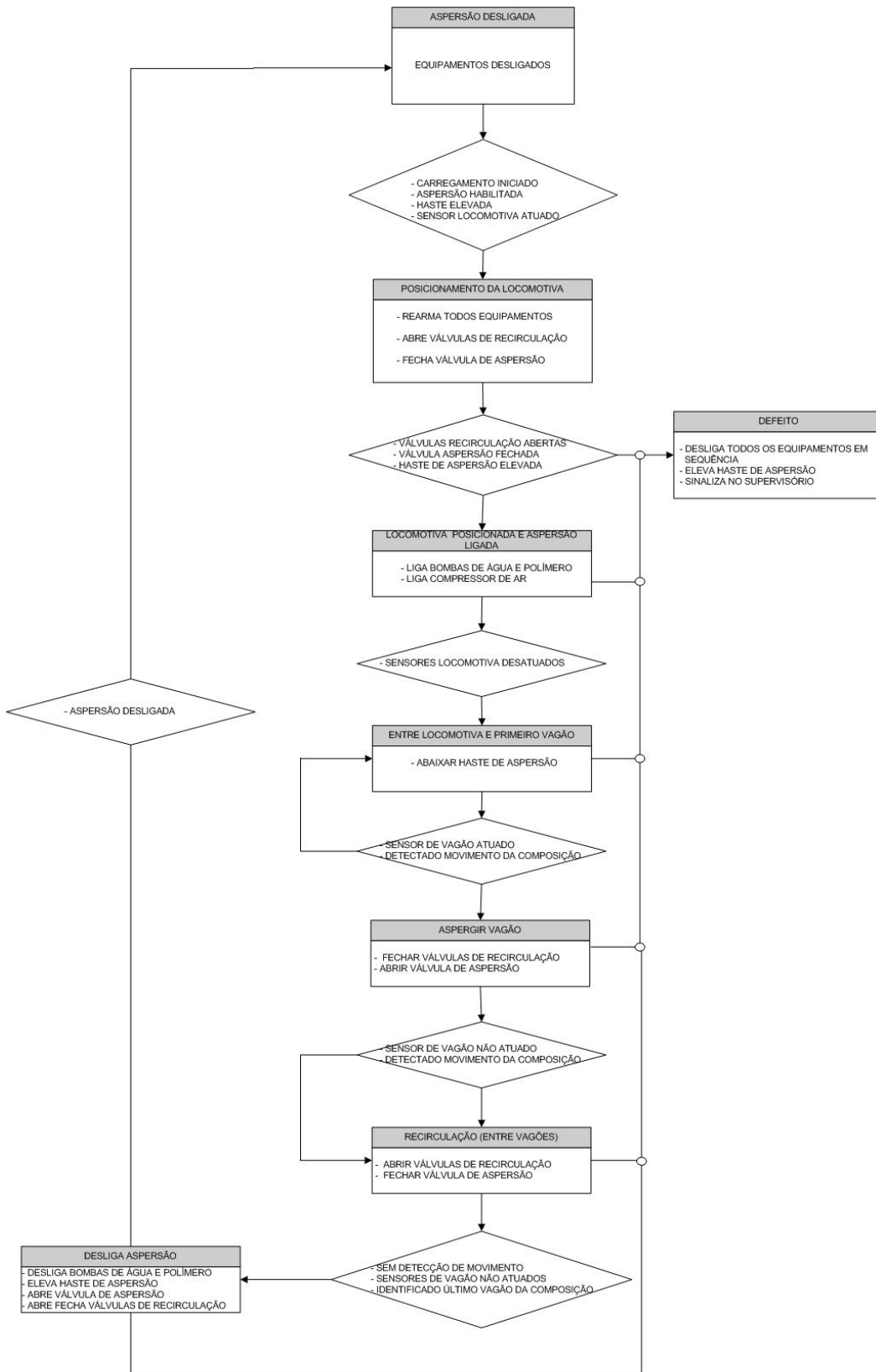


Fonte : tela capturada do sistema de supervisão

**Figura 2.** Tela de aspersão de vagões de dois carregamentos simultâneos - estação de supervisão TFA

Na estação de supervisão, cada equipamento é visualizado através de seu tag<sup>13</sup> e, em tempo real, pode-se visualizar estados, defeitos, intertravamentos, valores de variáveis analógicas (nível do tanque, velocidade da composição, pressão na tubulação, etc) e animações (haste basculando, aspergindo, etc). Os sistemas de supervisão usados na aspersão de vagões permitem relatórios de eventos de processo (estados, intertravamentos e defeitos), assim como gráficos históricos de variáveis analógicas. Para realizar o controle e sequenciamento automático, foi implementada no sistema de controle uma máquina de estados, ou seja, de acordo com a combinação dos eventos de entrada a máquina assume determinados estados. A máquina de estados é mostrada na Figura 3.

<sup>13</sup> Identificador do equipamento, usualmente um mnemônico associado a números.



Fonte: elaborado pelo autor  
**Figura 3.** Máquina de estados.



## 6 CONCLUSÕES

A simplicidade da metodologia empregada e a confiabilidade dos equipamentos utilizados no projeto de aspersão de polímero sobre vagões de minério de ferro promoveu efetivamente a redução da perda de carga e a diminuição da poluição ambiental, principalmente nas proximidades da zona urbana.

A escolha da arquitetura dos sistemas de supervisão e de controle, assim como a implementação, o comissionamento e o start-up do projeto, realizados pela IHM Engenharia, garantiram o total atendimento das expectativas da MBR. A automação industrial mostrou-se de suma importância para implementação do sistema automático de aspersão de vagões e sua interface com o carregamento de vagões.

### Agradecimentos

As etapas de especificação, desenvolvimento e implantação do sistema se tornaram mais rápida e segura, com a participação das empresas e profissionais, aos quais passamos nominalmente a agradecer:

**Empresas:**

- MBR - Minerações Brasileiras Reunidas
- IHM Engenharia e Sistemas de Automação

**Profissionais:**

- Júlio César Lima (MBR)
- Willian Maia (MBR)
- Sergio Santos (MBR)

### BIBLIOGRAFIA

- 1 BNDES. “Mineração e metalurgia”. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acessado em: 05/03/2006.
- 2 MICHAELIS. Dicionário da língua portuguesa.