

1

Introdução

Durante o último século, a demanda por *commodities* minerais vem aumentando rapidamente. Com o crescimento contínuo da população mundial e a esperança de aumento de padrão de vida em países em desenvolvimento, é provável que a procura por minério continue crescendo.

Para acompanhar essa demanda crescente, o processo de extração mineral vem utilizando, cada vez mais, máquinas de grande porte e complexidade. Esses equipamentos são capazes de transportar grandes volumes de uma só vez, o que reduz o número de equipamentos para realizar a mesma produção. Equipamentos de grande porte devem ter altos níveis de confiabilidade, pois concentram o risco que estaria diluído em mais de uma máquina.

Com a necessidade de um aumento considerável do volume da produção, as plantas e equipamentos aumentaram em custo e complexidade, e o tempo para paradas de manutenção deve ser reduzido ao máximo. Com isso o uso de técnicas de manutenção baseadas no monitoramento da condição do equipamento tem aumentado rapidamente nos últimos anos.

A manutenção baseada no monitoramento da condição do equipamento é vista como a técnica mais adequada para permitir a redução do tempo de manutenção, mesmo com o aumento de complexidade dos equipamentos, pois é capaz de reduzir o número de paradas para manutenção, e atuar de forma pontual no equipamento monitorado. Como não está fixada em rotinas pré-estabelecidas de manutenção, a intervenção só é realizada quando necessária. Outro aspecto importante está ligado ao fator psicológico, pois reduz a incerteza dos operadores sobre o estado atual da máquina.

Essa estratégia de manutenção visa à detecção de falhas, ao seu isolamento e, finalmente, a sua identificação. Sua tarefa principal é a identificação de falha do processo de anomalias e falhas de componentes, sensores e atuadores. O diagnóstico precoce de falhas que podem ocorrer na supervisão do processo torna possível a realização de importantes ações preventivas. Além disso, permite evitar grandes prejuízos financeiros envolvidos com a parada da produção e com a

substituição de elementos e peças. A maioria dos métodos de diagnóstico é baseada em modelos lineares.

Sistemas mecânicos de grande porte, como os que são utilizados na mineração, são complexos, por esse motivo não são fáceis de modelar, pois as medições são corrompidas por ruído e falha nos sensores. Portanto, um número de pesquisadores tem utilizado as redes neurais como uma forma alternativa para representar o conhecimento sobre falhas. Redes neurais podem filtrar ruídos e perturbações e fornecer soluções altamente estáveis sem a utilização de modelos lineares tradicionais.

Não foram encontradas pesquisas relacionadas à detecção de falhas em equipamentos móveis de grande porte. A grande maioria está ligada a plantas industriais [36,37,38,39,41,42,49,50,53,54]. Existe uma grande necessidade de investigações científicas relativas à aplicação de redes neurais nesses sistemas de grande complexidade e mais expostos à influência externa.

Um dos sistemas de diagnóstico mais frequentemente utilizados para detecção de falha é o modelo baseado no conhecimento. A idéia básica desse modelo é gerar sinais que reflitam a diferença entre o valor nominal e o valor defeituoso das condições de operação [8-11]. Esses sinais, chamados resíduos, são geralmente calculados por métodos analíticos, tais como observadores [9, 12] e métodos de estimação de parâmetros [13, 14].

Infelizmente, essas abordagens precisam de um modelo matemático dos equipamentos a serem diagnosticados. Quando não existem modelos matemáticos do sistema, ou quando a complexidade de um sistema dinâmico aumenta, a tarefa de modelagem é muito difícil, e portanto modelos analíticos não podem ser aplicados ou não conseguem apresentar resultados satisfatórios. Nestes casos, os modelos baseados nos dados, tais como redes neurais, lógica fuzzy ou a sua combinação (redes neuro-fuzzy), podem ser considerados.

Nos últimos anos, tem sido dada maior atenção à aplicação de redes neurais artificiais na modelagem e identificação de processos dinâmicos [17-20], em sistemas de controle adaptativo [19, 21, 22], e na previsão de séries temporais [23, 24]. Um interesse crescente na aplicação de redes neurais artificiais para sistemas de diagnóstico de falhas também foi observado [4,6,7,25,26,27]. Redes

Neurais Artificiais fornecem uma excelente ferramenta matemática para lidar com a não-linearidade.

As redes neurais apresentam uma propriedade importante, segundo a qual qualquer função não-linear contínua pode ser aproximada com exatidão arbitrária por uma rede neural com uma camada escondida e até funções não contínuas com duas camadas, com uma arquitetura adequada e seus parâmetros ajustados corretamente [23, 28]. Seu outro atrativo é a capacidade de aprendizado. Uma rede neural pode extrair as características do sistema a partir de dados históricos utilizando um algoritmo de aprendizado, que exige pouco ou nenhum conhecimento *a priori* sobre o processo. Isto fornece à modelagem de sistemas não lineares uma grande flexibilidade [19, 23, 29].

Para problemas de reconhecimento de padrões [30, 31], aproximação de funções não lineares [32, 33], e diagnóstico de falhas, devido a sua capacidade de aprender e generalizar funções não lineares entre as variáveis de entrada e de saída, as redes neurais artificiais fornecem um mecanismo flexível de aprendizado e reconhecimento de falhas de um sistema.

1.1

Objetivo da Dissertação

Com o crescimento da demanda de produção de minérios, é preciso aumentar a confiabilidade da cadeia produtiva e reduzir os custos de produção, sendo a manutenção desses equipamentos um fator essencial para o atingimento desses objetivos.

Deste modo, o foco desta dissertação foi desenvolver um modelo para apoiar a manutenção preditiva, por meio da análise dos dados dos sensores embarcados nos equipamentos de mineração e da detecção de padrões pré-falha utilizando redes neurais artificiais. O modelo deve oferecer uma avaliação da condição do equipamento, informando a probabilidade de determinadas falhas acontecerem, de forma a facilitar a função decisória de parar o equipamento antes das manutenções preventivas ou aproveitar as paradas preventivas para fazer correções baseadas no monitoramento de condição da máquina.

A identificação de padrões que precedem falhas tem, portanto, como objetivos:

1. reduzir o tempo de máquina parada, diminuindo o número de execuções de manutenção corretiva e os tempos gastos com ações não programadas para manutenção, tais como aguardar peças que não estão em estoque e movimentar equipamentos que falharam na linha de produção. Espera-se reduzir o próprio tempo de manutenção, pois a falha poderia deixar seqüelas em outros componentes além daquele que falhou;
2. aproveitar melhor os tempos de máquina parada, denominados janelas de oportunidade, para executar trabalhos paralelos, inclusive durante a manutenção preventiva;
3. gerenciar a manutenção por meio da gestão de risco baseada na condição atual do equipamento e em suas probabilidades de falha;
4. reduzir o custo com peças, tendo em vista que o modelo previne a ocorrência de falhas e quebras de componentes ou peças do equipamento.

1.2

Descrição do Trabalho

As principais etapas desse trabalho foram: estudo dos métodos e modelos aplicados à manutenção; desenvolvimento de um método de manutenção baseado em monitoramento das condições de equipamentos fora de estrada, utilizando reconhecimento de padrões pré-falha por meio de redes neurais artificiais; simulação da utilização das redes com dados reais e verificação dos seus benefícios.

Os modelos matemáticos aplicados à manutenção ao longo dos anos vêm sendo aprimorados, pela necessidade do aumento da eficiência e confiabilidade dos equipamentos. Todos os modelos têm como objetivo reduzir os custos da manutenção mantendo os índices de confiabilidade da máquina. Alguns modelos

utilizam distribuições estatísticas e modelagem matemática das falhas para otimizar o tempo de substituição do componente; outros são baseados no monitoramento de condição dos componentes.

Foi criada uma metodologia com o objetivo de reduzir o tempo em que o equipamento fica parado para uma manutenção corretiva (falhas no campo), utilizando dados reais de sensores de equipamentos fora de estrada aplicados em mineração e seus respectivos registros de falha. A metodologia consiste basicamente no tratamento dos dados, na seleção de atributos relevantes ao problema de classificação e na definição e treinamento das redes neurais.

Após a seleção do modelo adequado, com a modelagem das redes apropriadas, foi realizada uma simulação com os dados reais para verificar os benefícios trazidos pelo modelo em termos de tempo de máquina parada para manutenção corretiva.

Conforme será apresentado no capítulo 5, a utilização do modelo proposto reduziu o *downtime* corretivo do equipamento em até 20%.

1.3

Organização da Dissertação

Essa dissertação foi desenvolvida em seis capítulos, sendo um de introdução e mais cinco capítulos, que serão descritos a seguir.

No segundo capítulo é apresentado um estudo dos principais modelos matemáticos atualmente aplicados à manutenção, passando por modelos de manutenção corretiva, manutenção preventiva e preditiva baseada no monitoramento de condições do equipamento.

No capítulo três é apresentado o desenvolvimento do modelo proposto para abordar o problema, baseado em classificação de padrões utilizando redes neurais.

No quarto capítulo é avaliado o desempenho do modelo proposto, ou seja, a capacidade das redes neurais de detectarem os padrões pré-falha para cada uma das falhas estudadas.

No quinto capítulo são apresentadas as simulações do *downtime* da máquina utilizando o modelo de decisão proposto, discutindo os benefícios do mesmo.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões sobre esta dissertação e apontadas abordagens e melhorias futuras para o modelo proposto.