

UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA A AUTOMATIZAÇÃO DE RETOMADORAS DE MINÉRIO¹

José Pinheiro de Moura²
Bruno Eduardo Lopes³
Marco Antônio de Souza⁴

Resumo

Este trabalho apresenta um sistema especialista para otimizar o processo de retomada de minério por recuperadoras sobre trilhos utilizando-se técnicas de inteligência artificial para conceber um Sistema Especialista para efetuar o controle lógico dos movimentos de giro da recuperadora durante o processo operacional, com a finalidade de obter ganhos de produção. Esta técnica de construção de um sistema baseado em conhecimento traz referência humana para resolução de problemas. *CommonKADS* foi a metodologia adotada para modelagem do sistema especialista. O modelo foi construído considerando o comportamento dos especialistas, tanto no contexto da organização quanto da aplicação do conhecimento. Essa metodologia permite descrever a atividade de resolução do problema de forma genérica, independente do domínio específico da aplicação. O sistema especialista desenvolvido e implementado faz o controle operacional da retomadora durante o processo de retomada de minério com o mínimo de interferência do operador, pois este faz apenas os ajustes dos parâmetros de elevação da lança e penetração na pilha, o controle de velocidade do giro é feito pelo sistema. Com isso foi maximizada a produtividade em 5%. Portanto, o operador depois do sistema implantado é capaz de operar com maior segurança e melhor desempenho do processo operacional produtivo

Palavras-chave: Sistema especialista; Retomada de minério; Controle lógico; Processo operacional.

AN EXPERT SYSTEM TO AUTOMATE IRON ORE RECLAIMERS

Abstract

This paper presents an expert system to optimize the iron ore reclaiming process by reclaimers over rails by using artificial intelligence techniques to conceive an expert system to logically control the sideward movement of the reclaimer during the operational procedure, intending to obtain gains in production. This technique to build a system based on knowledge brings human reference to problem resolution. *CommonKADS* was the methodology adopted to model the system. The model was built considering the behavior of experts, so much in the organization context as in the application of the knowledge. This methodology allows to describe the activity of problem resolution generically no matter the specific domain of the application.

The expert system developed and deployed do the operational control of the reclaimer during the iron ore reclaiming process with minimum operator assistance because he only makes the adjustments of the bucketwheel elevation and pile penetration parameters, the spin speed control is done by the system. By doing this the productivity increased by 10%. Therefore, the operator after the system has been deployed is capable of operate with more safety and better performance of the production operational process.

Keywords: Expert system; Iron ore reclaiming; Logical control; Operational process.

¹ Contribuição técnica ao 14º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Mestre em Engenharia Elétrica – Automação e Controle - Cia. Vale do Rio Doce e UEMA.

³ Mestre em Engenharia Industrial - Cia. Vale do Rio Doce.

⁴ Tecnólogo em Processamento de Dados - Cia. Vale do Rio Doce.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência Artificial (IA) é uma ciência recente, seu desenvolvimento começou após a segunda guerra mundial em 1956. Atualmente a mesma abrange uma variedade de subcampos de estudo relacionando áreas de uso geral como: aprendizado e percepção, até tarefas mais específicas como jogos de xadrez, criação de poesias e diagnósticos de doenças.⁽¹⁾ Uma de suas metas é o desenvolvimento de máquinas que simulem a forma de raciocínio da mente humana e através de métodos simples e estruturados.

Atualmente as empresas utilizam essa tecnologia como uma ferramenta na promoção do desenvolvimento das capacidades humanas, através de aplicações relacionadas com a simulação de programas computacionais, treinamentos, conhecimento, planejamentos, estimativas de custos de produção e atendimento ao cliente. O nosso trabalho aborda em particular os sistemas especialistas, que utilizam uma base de conhecimento criada a partir do conhecimento extraído de especialistas humanos para tomada de decisões.

Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema especialista aplicado à retomada de minério por recuperadoras sobre trilhos para navios. A concepção do sistema envolve conceitos e técnicas de IA, para a representação e a organização do conhecimento no qual o sistema é aplicado. O trabalho foi organizado por seções. A seção 2 apresenta a uma fundamentação teórica sobre a inteligência artificial e os sistemas especialistas. A seção 3 descreve o processo operacional. A seção 4 aborda a caracterização do problema. A seção 5 descreve o desenvolvimento do sistema. As seções 6 e 7 apresentam os resultados e a conclusão.

A inteligência artificial é uma ciência recente, seu desenvolvimento começou após a segunda guerra mundial em 1956. Atualmente a mesma abrange uma variedade de subcampos de estudo relacionando áreas de uso geral como: aprendizado e percepção, até tarefas mais específicas como jogos de xadrez, criação de poesias e diagnósticos de doenças.⁽²⁾ Uma de suas metas é o desenvolvimento de máquinas que simulem a forma de raciocínio da mente humana e através de métodos simples e estruturados.

Atualmente as empresas utilizam essa tecnologia como uma ferramenta na promoção do desenvolvimento das capacidades humanas, através de aplicações relacionadas com a simulação de programas computacionais, treinamentos, conhecimento, planejamentos, estimativas de custos de produção e atendimento ao cliente. O nosso trabalho aborda em particular os sistemas especialistas, que utilizam uma base de conhecimento criada a partir do conhecimento extraído de especialistas humanos para tomada de decisões.

A empresa escolhida como campo de aplicação do sistema desenvolvido possui um complexo portuário de grande porte para a realização do manuseio (transporte, estocagem e embarque) de minério de ferro e de manganês. Este trabalho descreve o desenvolvimento de um sistema especialista aplicado a tomada de decisão para evitar contaminação de pilhas durante o processo de estocagem. A concepção do sistema envolve conceitos e técnicas de IA, para a representação e a organização do conhecimento no qual o sistema é aplicado. O trabalho foi organizado por seções. A seção 2 apresenta a uma fundamentação teórica sobre a inteligência artificial e os sistemas especialistas. A seção 3 descreve o processo operacional. A seção 4 aborda a caracterização do problema. A seção 5 descreve o desenvolvimento do sistema. A seção 6 apresenta os resultados. A seção 7 a discussão e a seção 8 a conclusão.

2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) é o estudo do comportamento inteligente em (homens, animais e máquinas) e a tentativa de encontrar formas pelos quais esse comportamento possa ser transformado em qualquer tipo de artefato por meio da engenharia.⁽³⁾ Um dos pioneiros dessa tecnologia foi o inglês Alan Turing que propôs em 1950 um teste muito famoso, conhecido como teste de Turing, conforme mostra a Figura 1 cujo objetivo era determinar se as máquinas seriam capazes de pensar. De acordo com o teste, um computador poderia demonstrar inteligência se um entrevistador humano, conversando com um ser humano e com um computador sem ver nenhum dos dois, não conseguisse dizer qual era um e qual era outro.⁽⁴⁾

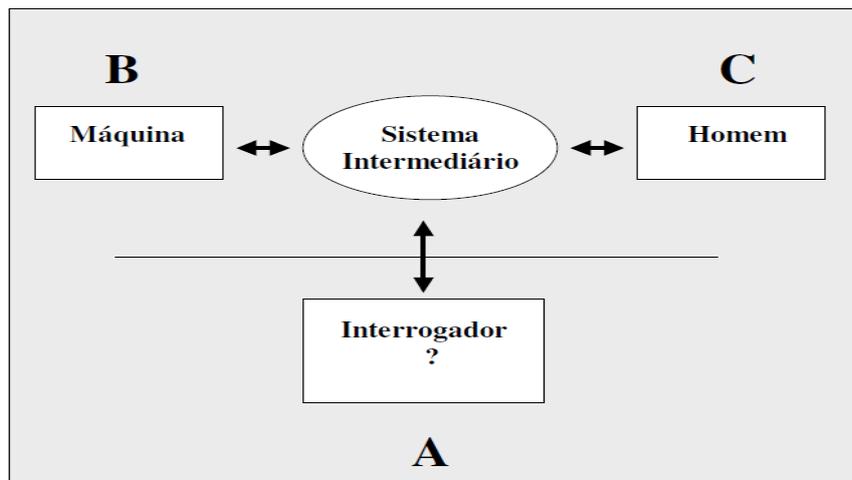


Figura 1: Teste de Turing.

Para bom entendimento da proposta desse trabalho vale conhecer alguns conceitos importantes sobre IA e em contrapartida sistemas especialistas.

A IA atualmente divide-se em três grandes áreas: a ciência cognitiva, robótica e interfaces naturais. Analisando cada uma dessas grandes áreas poderemos distinguir algumas de suas aplicações e tecnologias.

- Ciência cognitiva: baseada em pesquisas em biologia, psicologia, matemática e outras disciplinas afins. Entre suas aplicações temos: sistemas especialistas, sistemas de aprendizagem, algoritmos genéticos, redes neurais.
- Robótica: inteligência artificial, engenharia e fisiologia são as disciplinas básicas. Essa tecnologia produz máquina-robôs com faculdades físicas semelhantes às humanas, inteligência de computador e controle por computador. Abrange aplicações voltadas para a percepção visual, destreza, locomoção.
- Interfaces Naturais: abrange o desenvolvimento de linguagens naturais e reconhecimento do discurso como objetivos principais, para proporcionar ao ser humano uma comunicação com os computadores em linguagem natural e conseguir que eles nos compreendam.

Nos reportaremos as aplicações que envolvem a área da ciência cognitiva, mais especificamente aos SE uma das aplicações mais práticas e amplamente implementadas da IA nas empresas.

2.1 Sistemas Especialistas

Sistemas especialistas são sistemas de computação que realizam funções semelhantes àquelas realizadas por um especialista humano. Esses sistemas usam representação de conhecimento ou perícia humana num domínio particular de forma a executar funções semelhantes às de um especialista ou um conjunto de funções de vários especialistas agrupadas e este conhecimento é modelado por algum formalismo para a representação do conhecimento. O SE é “informado” sobre as características do problema e decide durante o processamento qual o caminho mais provável para a tomada de decisão. Uma das principais aplicações de SE são os sistemas de diagnóstico.⁽⁵⁾ Esses sistemas de informação são baseados em conhecimento e utilizam o conhecimento sobre uma determinada área de aplicação específica como um consultor para usuários finais.

Os sistemas especialistas utilizam dois componentes para seu funcionamento:

- base de conhecimento: representa as informações (fatos e regras) que o sistema especialista utiliza, conhecimento representado de forma computacional;
- mecanismos de inferência: é a parte do sistema especialista responsável pelas deduções sobre a base de conhecimento.

O SE utilizado neste trabalho possui sua base de conhecimento baseada em regras de produção, que são simplesmente um conjunto de regras no estilo SE (condição satisfeita) ENTÃO (ação é realizada), com a possibilidade de inclusão de conectivos lógicos relacionando os atributos no escopo da base.^(6,7)

Os SE são desenvolvidos partindo-se do conhecimento adquirido de especialistas humanos. O engenheiro do conhecimento ou o especialista são profissionais de grande importância nesse processo de montagem da base de conhecimento, utilizando um processo de repetição e prototipagem para tornar o sistema especialista aceitável.⁽⁴⁾ Sistemas especialistas artificiais possuem vantagens quando comparados com especialistas humanos, relacionando-se a velocidade, a certeza, disponibilidade de trabalho.⁽⁵⁾ No entanto a ausência de senso crítico e capacidade de adaptação, além do seu objetivo restrito tornam algo problemático sua substituição por completo de especialistas humanos.⁽⁶⁾ O Quadro 1 apresenta um comparativo entre sistemas especialistas e especialistas humanos.

Quadro 1: comparativo entre sistema especialista e especialista humano.

Quadro Comparativo		
Características	Sistema especialista	Especialista humano
Adaptação	Inflexível	Adaptável
Criatividade	Sem inspiração	Criativo
Enfoque	Restrito	Amplo
Estabilidade	Previsível	Imprevisível
Meio Social	Não é influenciável	Influenciável
Preconceito	Imparcial	Discriminatório
Documentação	Fácil de documentar	Difícil de documentar
Custo	Razoável	Alto

Um SE, para poder apresentar o desempenho de especialistas humanos, depende de uma grande base de conhecimento.⁽⁷⁾ O ser humano, durante o processo de aprendizagem, preocupa-se, inicialmente, com aquisição de dados (conhecimento propriamente dito), sem se preocupar com a forma de representação, ou como está sendo feito o armazenamento no cérebro (base de conhecimento). Diferentemente, os

SE's, para que se obtenha os resultados esperados com maior desempenho e eficiência e com fácil manutenção, necessitam de uma prévia análise avaliativa, de qual melhor maneira de se estruturar o conhecimento adquirido, maneira esta denominada forma de representação do conhecimento (RC). Define-se RC como um esquema ou dispositivo usado para capturar os elementos essenciais de um domínio do problema.⁽⁸⁾

Em IA, existem diversas maneiras e formas de RC, cada qual com suas vantagens e desvantagens, que podem ser utilizadas individualmente ou em conjunto, dependendo do fim a que se propõe. O tipo de RC que deve ser usado em um determinado problema depende fundamentalmente do uso final do conhecimento, que pode ser aquisição de mais conhecimento, recuperação de conhecimento ou inferência sobre conhecimento para obtenção de uma solução. Existem muitas formas de RC, tais como: scripts, quadros, regras de produção, redes semânticas, lógica de predicados e raciocínio baseado em casos.

O SE pode ser classificado em relação ao seu modo de operação como *on-line*, se está conectado a um sistema físico e a sua atuação é em tempo real, ou *off-line*, caso a sua atuação não seja em tempo real. A interface com o usuário ou operador é a componente pela qual faz a interação entre o operador e o SE. Esta é projetada e implementada de forma a permitir e facilitar a operação do SE, permitindo entrada de dados, saídas em formato de perguntas, conclusões e justificativas. Algumas interfaces possuem até mecanismos de explicações do raciocínio que o sistema utilizou para obter uma conclusão. Atualmente, estudos nas teorias cognitivos vêm sendo feitos, voltados para novos projetos de interface homem-máquina de sistemas de IA. As Figuras seguintes ilustram como é feita a interação da máquina (computador) com o usuário. Modo genérico de decisão de um sistema especialista é representado pelos seguintes elementos: banco de dados - onde são armazenados todos os dados do sistema, processador de dados – onde é feito o processamento de dados, métodos analíticos – onde é feita a análise de dados e interface, interação homem máquina, conforme Figura 2.

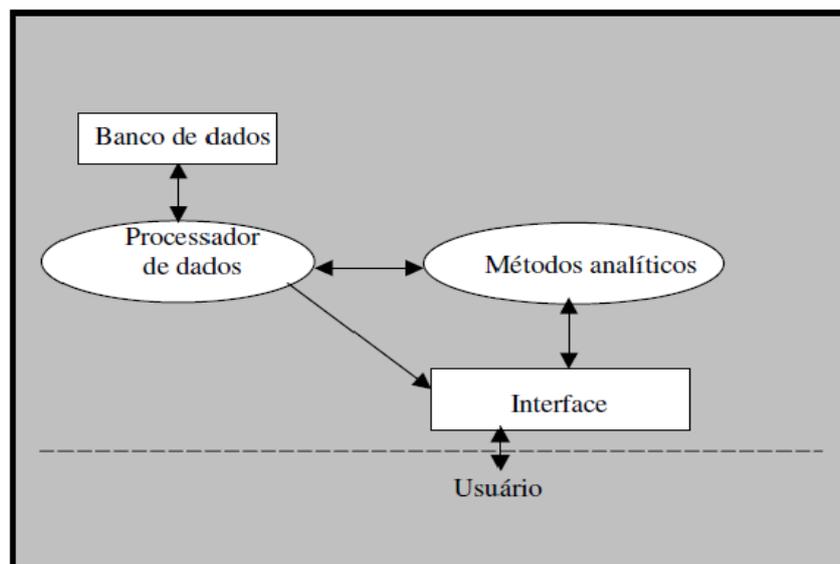


Figura 2: Modo genérico de decisão de um sistema.

Um sistema especialista genérico tem uma representação macro de um sistema especialista, um sistema especialista genérico é composto dos seguintes elementos: memória de trabalho – capacidade de trabalho do sistema, base de conhecimento –

onde todo conhecimento está disponível para o funcionamento do sistema, máquina de inferência – componente fundamental nos SE's, pois é através da máquina de inferência que o sistema toma decisões e interface com o usuário e a engenharia de conhecimento, como ilustra a Figura 3.

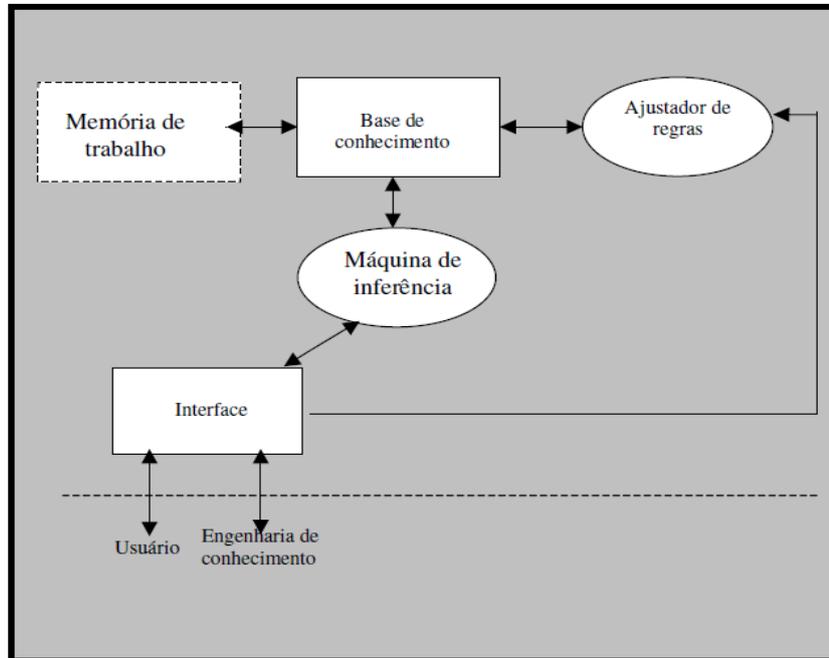


Figura 3: Sistema especialista genérico.

3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO OPERACIONAL

O TPPM é um complexo portuário voltado para o manuseio (descarga, estocagem e embarque) de minério de ferro. A Figura 4 ilustra a planta do TPPM. O processo é iniciado através dos viradores de vagões equipamento de grande porte responsável pela descarga dos vagões que são trazidos da mina de Carajás através da estrada de ferro conduzidos por locomotivas, sendo que cada trem carregado possui 330 vagões contendo em média 100 toneladas por vagão. Após sua chegada ao TPPM o trem é dividido em lotes de 110 vagões cada, sendo esses posicionados por locomotivas no interior de um dos três virador de vagões para a partir de então iniciar o processo de descarga do lote de 2 em 2 vagões até seu término. O minério descarregado pelos VV's, são transportados por correias transportadoras até as Empilhadeiras – EP's para ser estocado a granel no pátio de estocagem, a Figura 5 ilustra o pátio de estocagem do TPPM e a Figura 6 a EP 313k-03 do TPPM.

O minério é retomado do pátio de estocagem por recuperadora de minério sobre trilhos, transportado por correias transportadoras até o carregador de navios, onde o carregamento é feito. As RP's são operadas em modo remoto de uma sala de operações que fica localizada a uma distância de até 1.000 metros do equipamento operado. A RP é operada em modo remoto ou em modo cabine, no modo remoto pode ser operada em manual ou semiautomática, já o modo cabine, o operador fica embarcado e a operação é feita manual. As Figuras 7 e 8 ilustram uma recuperadora de minério sobre trilhos e um carregador de navios.

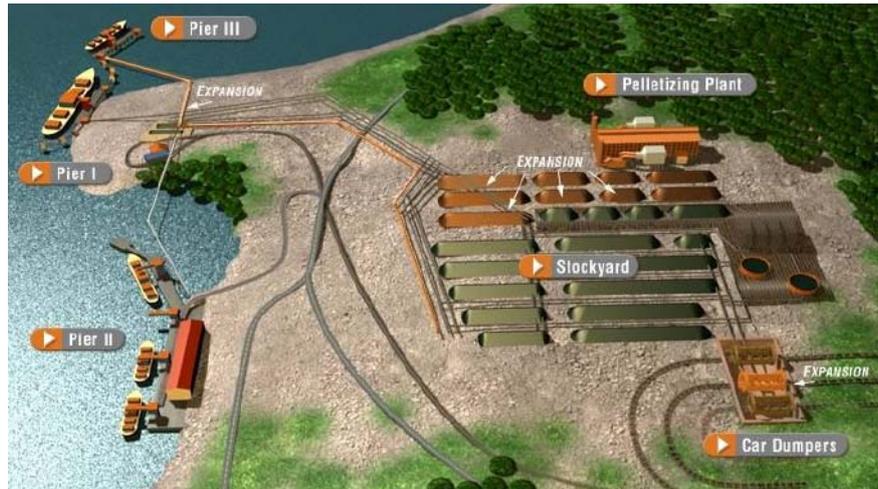


Figura 4: Layout do TPPM.



Figura 5: Pátio de Estocagem do TPPM.



Figura 6: EP 313k-03 do TPPM.

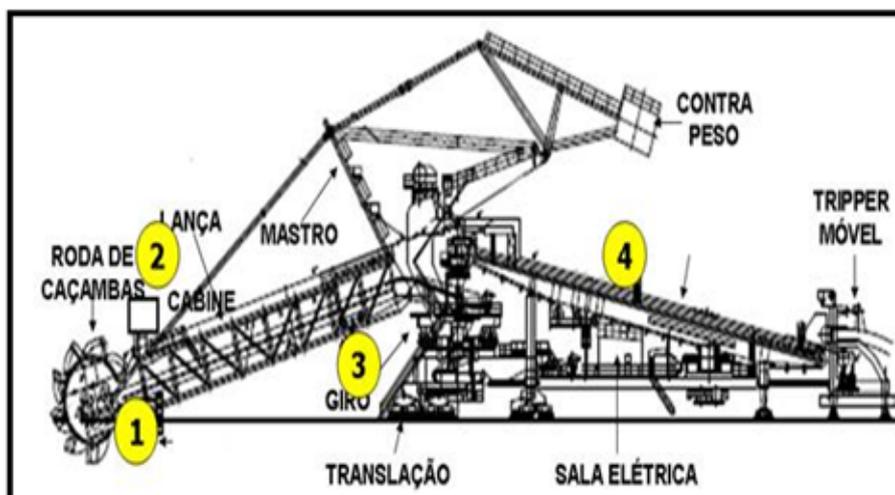


Figura 7: Arranjo Geral da ER 313k-03.

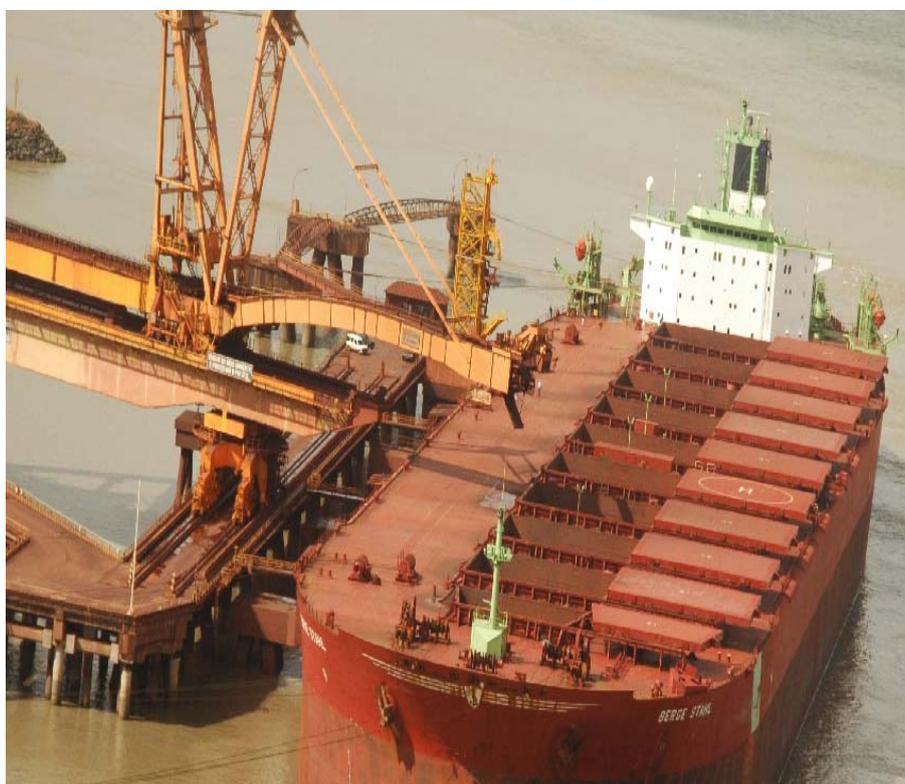


Figura 8: Carregador de Navios CN 321k-01.

4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A planta industrial do TPPM está atualmente em crescente progresso, descarregando e embarcando mensalmente mais de 6 milhões de toneladas de minério de ferro de características físicas e químicas diferentes.

O processo de retomada de minério é feito através de recuperadoras sobre trilhos que faz a retomada do minério do pátio de estocagem para embarque de navios. O processo operacional é feito com operador embarcado na cabine, onde este faz o controle manual do fluxo de forma irregular, isto é, com altas variabilidades.

4.1 Definição do Problema

Durante o processo de retomada de minério, ocorrem altas variabilidades na taxa horária por Falta de um sistema de controle automático da taxa durante o processo de recuperação.

4.2 A Aquisição do Conhecimento

A etapa de aquisição do conhecimento do sistema especialista foi realizada através de entrevistas com operadores do equipamento e profissionais da área de manutenção, análises de relatórios operacionais e observação da operação do equipamento. Durante as entrevistas a imparcialidade foi um fator importante para não influenciar nas respostas, assim como coleta e registro dos dados obtidos na tarefa de observação e análises de eventos ocorridos anteriormente estudando os gráficos diários de operação.

4.3 A Modelagem do Conhecimento

A representação do conhecimento através de regras de produção é a forma mais utilizada por SE. A sua justificativa é a naturalidade que a mesma representa para a mente humana, pois o conjunto condição/ação usado para raciocinar e decidir, é também utilizado pela mente humana.^(9,10)

Para modelar esse conhecimento com formalidade adotamos a metodologia *CommonKADS* para o desenvolvimento de aplicações baseadas em conhecimento, a mesma foi gradualmente desenvolvida e validada por muitas empresas e universidades, evidenciada por programas como o *ESPRIT* europeu de TI.⁽¹¹⁾ A mesma abrange conceitos de engenharia de software e diversos aspectos em um projeto de desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento como: a aquisição do conhecimento, modelagem conceitual, interação com usuário, integração de sistemas e implementação computacional.⁽¹²⁾

4.3.1 Modelagem *CommonKADS*

O objetivo de um sistema baseado em conhecimento *CommonKADS* é organizacional, através da introdução de um SBC. O produto de um projeto de um SBC não é um SBC, mas a razão de novas práticas improvisadas da organização deste sistema. Um modelo produto *CommonKADS* está estruturado numa coleção de informações sobre a situação da meta refletindo os passos que são importantes para fazer o SBC encontrar a solução no contexto organizacional. O modelo produto *CommonKADS* é um conjunto de modelos inter-relatados do conjunto de modelos *CommonKADS*. Este conjunto de modelos especifica seis modelos diferentes, conforme a figura - 07. A metodologia *CommonKADS* foi concebida em 1989, por um projeto europeu *ESPRIT*. Esta metodologia visa guiar, de modo padrão, todo o processo de modelagem de um SBC, sobretudo no que diz respeito às estratégias de planejamento, aquisição e interação do conhecimento do especialista humano ao sistema computacional.⁽¹²⁾

4.3.2 Método proposto para coleta de conhecimento

O processo de aquisição de conhecimento não é apenas a extração e transcrição do conhecimento, e sim uma atividade de modelagem. Tal procedimento requer para a sua realização a utilização de uma metodologia que conduza de modo satisfatório a implementação do projeto concebido. Dentre as metodologias existentes destaca-se o

KOD, o *PROTEGE*, o *COMMET* e *COMMONKADS*, sendo esta última a mais utilizado.⁽¹²⁾ A metodologia *CommonKADS* é a mais utilizada pelos engenheiros de conhecimento por ter a focalização no modelo conceitual, que serve de guia no processo de AC, o que facilita a filtragem, organização e estruturação do conhecimento coletado. *KADS* é uma metodologia aplicada no desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimentos. *CommonKADS* desenvolve idéias avançadas, as idéias são de fáceis introdução nos SE's prometendo ser suficiente para a explanação e pesquisa. Por exemplo, a idéia de conhecimento é extraída de um especialista humano, inserida e usada nos elementos de conhecimento. O conhecimento é visto como uma forma de modelagem racional (ou racionável) de comportamento, isto tem sido uma observação particular de um especialista particular em situações particulares ou problemas particulares.⁽¹²⁾ *CommonKADS* está compreendida em três idéias também concretas que são bastante usadas, não só, pela engenharia de conhecimento, mas pela engenharia de *software*. Estas três idéias são: modelagem, gerenciamento de risco e reuso, estas idéias são operacionalizadas por três elementos chaves na metodologia, o ponto nominal do modelo, os estados do modelo e as bibliotecas de modelagens. Em *CommonKADS*, o desenvolvimento de um SE é visto como a construção do modelo do comportamento da solução no contexto organizacional concreto. *CommonKADS* fornece uma série de modelos detalhados que permite expressar a solução da situação.

- **Seleção do conhecimento de engenharia**

O conhecimento de engenharia é uma ciência de acesso das alternativas para análises de decisões, a ciência do conhecimento de engenharia inicia na área de descobrimento, na forma e modelo deste conhecimento, isto é, a base de regras de produção.^(10,12)

- **Seleção do especialista**

Os líderes do processo devem fornecer os nomes dos especialistas humanos do domínio, isto é, aqueles indivíduos que são conhecedores e têm significância e perícia dentro do domínio em questão. O especialista deve está desempenhando atividades dentro do conhecimento, e além do mais, ter conhecimento pleno das atividades desenvolvidas. Escolher especialista humano com uma trajetória de sucesso muito grande. O especialista humano deve-se dispor, ter habilidade de comunicação conhecida e que seja articulado na resolução dos problemas. O especialista humano além de ter todas as características acima citadas, este deve está disposto o tempo que for necessário para o desenvolvimento do sistema especialista^(10 e 12).

- **Reunião inicial**

Dá prioridade para esta reunião, a engenharia de conhecimento, deve familiarizar a todos de seu problema, o domínio e a tecnologia usada. Esta reunião deve ser marcada em um local próximo, confortável e com duração máxima de duas horas, para não se tornar cansativa. A reunião deve ser conduzida de forma informal e descontraída, deixar claro para o especialista humano, quais os planos, metas, explicar o que é um sistema especialista e o que ele pode fazer, bem como a organização, fazer um breve histórico da evolução dos sistemas especialistas, reforçar sua discussão sobre sistemas especialistas com demonstração do uso da existência de muitos sistemas especialistas. Se áudio / visual pedir a permissão do especialista humano para o uso das gravações no desenvolvimento do sistema especialista⁽¹⁰⁾.

- **Experiências**

Fazer uma visita ao campo logo que for possível, deixar o especialista humano ciente da existência de manuais atuais, reportagens ou qualquer outro material escrito que

possa descrever o domínio, o problema e a terminologia empregada. Pedir o especialista humano para submeter-se a sessões de seminários informais. Nesta sessão não são questionadas as perguntas, apenas a engenharia escuta e aprende.⁽¹⁰⁾

- **Organização da reunião seguinte**

Minimizar a possibilidade de interrupções das reuniões, estabelecer uma agenda formal para cada reunião, determinar metas e objetivos para cada reunião, de uma vez que um protótipo do sistema especialista tiver sido desenvolvido, estabelecer acesso para instalação de *software* e *hardware*.^(10,12)

- **Condução da reunião seguinte**

Extração das regras através das discussões e demonstrações, tentar identificar todas as fontes externas de dados e informações que serão usadas pelo especialista humano, ser paciente, não interromper o raciocínio do especialista humano, evitar críticas, lembrar que está sendo desenvolvido um modelo de especialista baseado em suas regras, não um modelo de sua base de conhecimento, não deixar de entender todas as ações do especialista humano, caso não consiga entender com facilidade, pedir para explicar melhor até que fique completamente claro. Usar o teste de casos para demonstrar o processo de tomada de decisão e para identificar os limites os quais as regras serão validadas. É importante, a cada reunião, fazer uma explanação rápida da última reunião para retomar o raciocínio e dar seqüência ao desenvolvimento das idéias que serão utilizadas para a construção da base de dados do SE.⁽¹⁰⁾

5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ESPECIALISTA

Baseado na experiência e conhecimentos adquiridos durante o processo de operação de máquinas como as RP's, surgiu a idéia para desenvolver um SE capaz de fazer o controle automático do processo de retomada de minério, bloqueando possíveis erros humanos. O sistema foi desenvolvido e implementado usando-se o software INTOUCH para garantir o automatismo na operação de RP's.⁽⁹⁾

5.1 Funcionamento do Sistema Anticontaminação

O SE para automatização de RP foi desenvolvido baseado em Inteligência Artificial para efetuar o controle operacional e lógico da retomada de minério controlando o processo operacional de forma automática. As informações de campo são coletadas por sensores instalados em posições definidas para informar o correto posicionamento da RP ao longo do pátio de estocagem e a posição de ataque da roda de caçamba na pilha.

O sistema foi concebido para funcionar de em modo semiautomático e modo manual.

- **Modo semiautomático** – o processo é feito com ajustes de parâmetros operacionais, tais como: altura da bancada da pilha, tamanho do passo de penetração da roda de caçamba na pilha e ângulos de giro;
- **Modo manual** – o controle é feito pelo operador através dos comandos manuais executados no console de comandos.

5.1.1 Regras de produção

As regras de produção da base de conhecimento no formato de sentenças lógica do tipo **SE** (condição é satisfeita) **ENTÃO** (ação é inferida ou executada).⁽⁶⁾ O exemplo par condição-ação é chamado de produção, dando origem ao nome Regras de

Produção (RP). As regras de produção são populares por possuírem as seguintes vantagens:

- *modularidade*: cada regra, por si mesma, pode ser considerada como uma peça de conhecimento independente;
- *facilidade de edição*: novas regras podem ser acrescentadas e antigas podem ser modificadas ou excluídas com relativa independência; e
- *transparência do sistema*: garante maior legibilidade da base de conhecimentos.

Portanto, é preciso ter em mente que a modularidade de um sistema baseado nessa arquitetura permite a construção passo-a-passo da base de conhecimentos, ou seja, é possível realizar vários testes com apenas um subconjunto de regras concluído. Obviamente, sabe-se que menos regras implicam geralmente em um menor número de casos abrangidos.

O conjunto de regras elaborado para o SE Controle de Nível e Fluxo de Minério na Descarga de Vagões no Porto de Ponta Da Madeira foi criado a partir dos dados coleados durante o processo de aquisição de conhecimento. Este processo foi bastante cauteloso, pois houve uma preocupação, primordialmente, em levantar e registrar todos os dados, analisados e classificados os dados já coletados e registrados de acordo com a complexidade estrutural, definidas as estruturas conforme os procedimentos padrões de decisão utilizados durante o processo operacional. Tomando o máximo de cuidado para não deixar de levantar dados importantes, e, também tomando cuidado para não levantar dados irrelevantes para o sistema operacional produtivo. Os instrumentos de coletas de dados adotados foram bastante discutidos de forma criteriosa para não comprometer a credibilidade do SE. Os instrumentos de coleta de dados foram: pesquisa bibliográfica, entrevistas com os especialistas, observação direta da operação do sistema operacional produtivo e análises de relatórios (operacionais e de manutenção) diários. Os instrumentos de coleta, no entanto se distinguem pela sua natureza no que diz a respeito à aquisição de conhecimento:

- na pesquisa bibliográfica, a orientação foi pelas definições e fundamentações dos termos, conceitos e processos adotados nos procedimentos de tomada de decisão em se, procurou-se ser o mais coerente possível com a analogias feitas com o se em estudo para tomada de decisão;
- durante as entrevistas com especialistas – técnicos em manutenção e operação, foi mantida a imparcialidade para não influenciar nas respostas;
- na observação direta da operação do sistema operacional produtivo, foram coletados e registrados todos os dados para posteriores análises; e
- nas análises feitas nos relatórios (operacional e de manutenção) diários, foram interpretados os todos eventos ocorridos durante a operação do sistema produtivo operacional, classificando-os de acordo com a relevância para a produção.

Tabela 2: Variáveis e valores do SE

VARIÁVEIS	VALORES
Pátio	Correto
	Errado
Tamanho do Passo	Ajustado
	Não Ajustado
Ângulo de Giro	Ajustado
	Não Ajustado
Ângulo de Elevação	Ajustado
	Não Ajustado
Causa	Variabilidade na Taxa
Decisão	Ajustar Parâmetros

Regra 1: SE houver erro no posicionamento da máquina no pátio, ENTÃO é permitido habilitar o modo semiautomático;

Regra 2: SE o passo de penetração na pilha não estiver ajustado, ENTÃO é interrompido o comando de translação; e

Regra 3: SE os ângulos de giro não estiverem ajustados, ENTÃO haverá variabilidade alta na taxa horária.

6 RESULTADOS

Os resultados deste artigo em **Pesquisa, Desenvolvimento e Implementação da Lógica no PLC** são separados em **científicos** associados à **pesquisa** e do **desenvolvimento e Implementação da Lógica no PLC** de um **produto** para ser utilizado em campo.

Considerando o funcionamento do sistema produtivo antes da implementação do SE e fazendo uma comparação depois do SE implementado, foi observado que a filosofia do SE foi alcançada. Diminuiu-se a variabilidade da taxa e aumentou a produtividade, conforme os gráficos ilustrados nas Figuras 9 a 12.

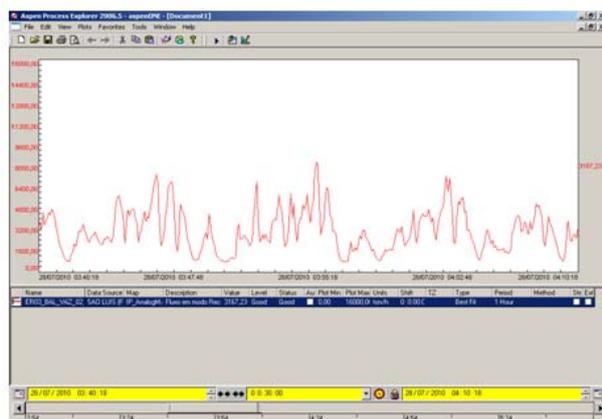


Figura 9: Retomada com operador embarcado na cabine.

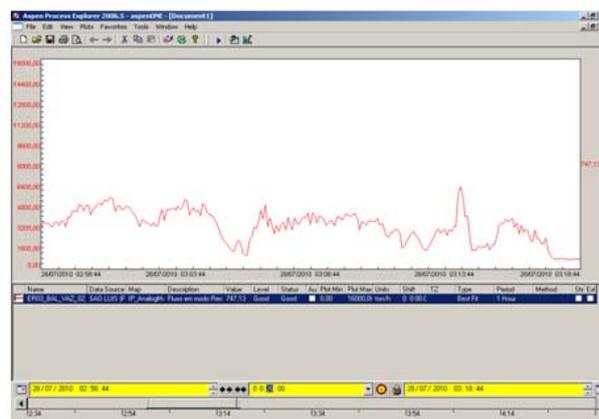


Figura 10: Retomada em modo remoto.

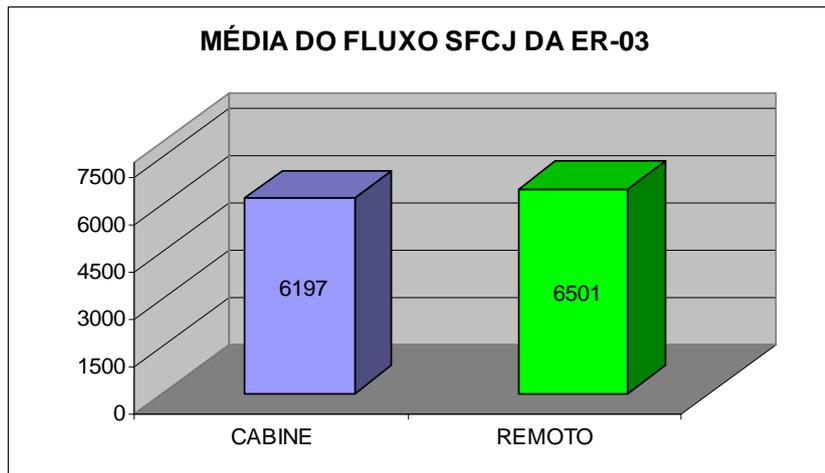


Figura 11. Média da Taxa Horária da Retomada de Minério da ER 313k-03 no período de 01/06 a 30/06/2010.

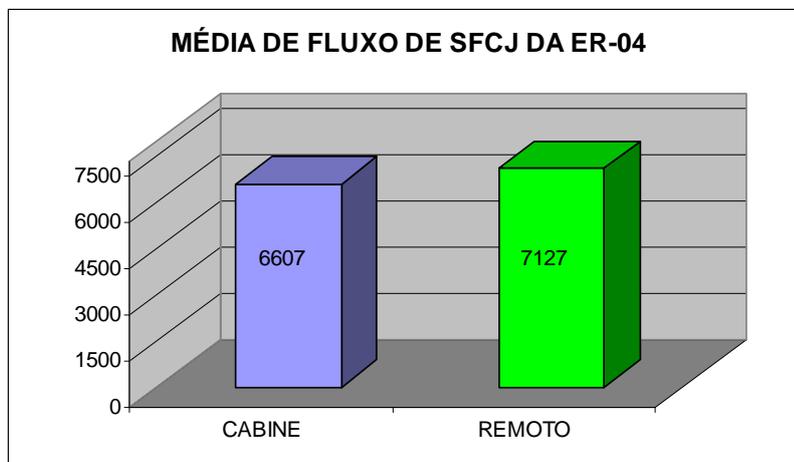


Figura 12. Média da taxa horária da retomada de minério da ER 313k-04 no período de 01/06 a 30/06/2010.

7 DISCUSSÃO

Como não foi encontrado artigos sobre automatização de retomadora, não foi possível comparar com outros autores, no entanto, foi feita uma comparação do modo de operação remota com a operação com operador embarcado na cabine. Foi observado que a variabilidade da taxa foi menor para operação em modo remoto, como também houve um aumento em torno de 5% na produtividade depois do sistema implantado. Um aumento de 5% representa em torno de 400 toneladas a mais embarcadas por hora, o preço da tonelada é em cerca de \$68,00 multiplicado por 400, tem-se \$27.200,00. A média de operação por máquina é de 12h por dia, então \$27.200,00 vezes 12h é \$326.400,00 vezes 30 dias é \$9.792.000,00 vezes 12 meses é \$117.504.00,00.

8 CONCLUSÃO

O artigo apresentado aqui descreve uma metodologia para elaboração de um sistema com a aplicação de técnicas básicas de *Inteligência Artificial - Sistema Especialista* construído de forma a ter-se um resultado satisfatório para o problema proposto. As regras foram criadas baseadas em fatos ocorridos durante a operação do sistema

produtivo do processo de retomada de minério. Os fatos eram observados e registrados para depois serem analisados com mais cuidados. De posse dessas informações foi proposto o modelo do SE. Todas as etapas do processo operacional foram analisadas para que pudesse ser projetado um sistema eficaz, ou seja, com um bom desempenho. Portanto, foi controlado o problema de variabilidade de fluxo por erros operacionais, eliminando esse problema do processo produtivo com a implementação do Sistema Especialista para Automação de Retomadoras de Minério

Agradecimentos

A Cia. Vale do Rio Doce por apoiar com recurso no desenvolvimento e implementação do SE.

Ao supervisor de Automação da Vale Ângelo Giuseppe Santos, ao Gerente de Inovação e Tecnologia da Vale Fernando Costa e aos engenheiros, analistas e técnicos da Vale:, Denis Anderson, Hugo Carneiro, Ricardo Marreco, Rodrigo Lamounier, Marcelo Matreyonne, Daniel Perez e Celso Viana que contribuíram de forma direta para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 RUSSEL, Stuart J.; NORVIG, Peter. Inteligência Artificial. Tradução: PubliCare Consultoria. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- 2 Moura, J. P. de. Sistema Especialista para Identificação de Falhas e Tomada de Decisão. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Maranhão - 2003.
- 3 Blay, Whitby. IA: Guia para iniciantes. São Paulo: Mandras, 2004.
- 4 O'Brien, James A. Sistemas de Informação e as decisões gerenciais na era da internet. Tradução Célio Knipel Moreira e Cid Knipel Moreira- 2 ed. – São Paulo: Saraiva: 2004.
- 5 Abel M. Sistemas Especialistas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de informática; 1998.
- 6 Moura, J.P.de. Um Sistema Especialista para Detecção de Falhas e Tomada de Decisão em Correias Transportadoras de Minério VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente – Bauru – SP – SBAI -2003
- 7 RICH, Elaine, *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, 1990.
- 8 SCHALKOFF, Robert J., *Artificial Intelligence: An Engineering Approach*, McGraw-Hill, Inc., 1990.
- 9 Moura, J. P. de. A Real Time Expert Systems for Faults Identification in Rotary Railcar Dumper - 5th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics – Funchal, Madeira – Portugal - ICINCO 2008.
- 10 CommonKADS, disponível em: <<http://www.commonkads.uva.nl>> . Acessado em: 10 de outubro de 2009.
- 11 SCHERIBER, G; AKKERMANS, H.; ANJEWIERDEN, A.; HOOG, R.; SHADBOLT, N.; DE VELDE, W.; WIELINGA, B. Knowledge Engineering and Management: The commonKADS Methodology. MIT Press. Cambridge- Massachusetts, 2002.
- 12 BREUKER, J. and VAN DE VELDE, W. CommonKADS Library for Expertise Modeling, 1994.