

# **SIMULADOR DE REALIDADE VIRTUAL PARA RECUPERADORAS DE RODA DE CAÇAMBAS<sup>1</sup>**

*Ricardo Marreco Vasconcelos<sup>2,3</sup>  
Von Colborn<sup>3</sup>*

## **Resumo**

O objetivo deste projeto foi desenvolver o primeiro Simulador de Realidade Virtual para Recuperadoras de Roda de Caçambas para treinamento dos operadores da VALE S.A. O sistema contempla 134 diferentes falhas da máquina real (sobrecargas, subvelocidades e até falhas de procedimentos operacionais), além de recursos mais comuns como controle de condições ambientais, controle de horário da simulação (dia ou noite) e emissão de relatório de performance após o término de cada seção de treinamento. De forma a se obter uma representação realística da interação entre máquina e pilha, foi necessário o desenvolvimento da modelagem matemática do comportamento físico das partículas tais como minério de ferro, carvão, coque e pelota em suas diversas granulometrias e em diferentes níveis de umidade. Com este projeto, foi possível reduzir o tempo do treinamento dos operadores em uma máquina real, o risco de acidentes para os novos operadores e aumentar a produtividade dos terminais uma vez que durante o período de treinamento sem o simulador (3 a 4 meses para cada novo operador), a performance dos treinandos chega a ser até 30% menor se comparado a um operador experiente. **Palavras-chave:** Simulador; Recuperadora de roda de caçamba; Treinamento de operadores.

## **VIRTUAL REALITY SIMULATOR FOR BUCKET WHEEL RECLAIMER**

### **Abstract**

The objective of this project was the development the first simulator of Bucket Wheel Reclaimers for training VALE's operators. The system includes 134 different real machine faults (overloads, underspeed and even operating procedure failures), In addition to common features such as control of environmental conditions, control of the time of day for the simulation (day or night) and performance reporting after finishing each training section. In order to obtain a realistic representation of the interaction between machine and piles, it was necessary to develop a mathematical model of the physical behavior of particles such as iron ore, coal, coke and pellet in their various particle sizes and at different moisture levels. With this project, it was possible to reduce the operators training time in a real machine, the risk of accidents for new students/Operators and to increase the productivity of the terminals as during the training period without the simulator (3 to 4 months for each new operator) the performance of trainees is up to 30% lower compared to an experienced operator.

**Key words:** Simulator; Bucket wheel reclaimer; Operators training.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Especialista, Gerência de Automação Portuária VALE*

<sup>3</sup> *Project Management, Globalsim Inc.*

## 1 INTRODUÇÃO

A VALE é a segunda maior empresa mineradora do mundo exportando anualmente um volume em torno de 360 milhões de toneladas de vários granéis sólidos como minério de ferro, pelotas, manganês, cobre, níquel, bauxita, soja, farelo de soja e milho.

A maior parte dos granéis são estocados a céu aberto e a recuperação destes para embarque ou produção é geralmente feita por equipamentos conhecidos como Recuperadora de Roda de Caçambas, como a apresentada na Figura 1.



**Figura 1.** Empilhadeira Recuperadora de roda de caçamba – Porto de Tubarão em Vitória

A operação destes equipamentos não é fácil e demanda alguns meses de treinamento na máquina real para que o operador consiga atingir as taxas de produção média dos terminais portuários, que gira em torno de 7.200 ton/h (para turno de 6 horas).

Uma outra característica dos operadores com pouco treinamento e que gera um grande impacto na produção a longo prazo é o número de quebras da máquina. Estas quebras são sempre associadas a uma operação indevida do equipamento ou pelo desconhecimento pelos operadores dos limites ou condições da máquina.

A utilização de simulação de realidade virtual para treinamento de operadores já faz parte da cultura de empresas em outros ramos de atividade como, por exemplo, aviação, ferrovias, metrô e empresas de construção civil (terraplanagem e escavações), setores da indústria onde os equipamentos operam 24 horas e possuem um valor elevado, o que elimina qualquer possibilidade de manter um equipamento dedicado para treinamento de pessoal ou nos setores com elevado risco de acidentes em caso de erros dos operadores.

Nos terminais portuários da VALE, a utilização de simulação foi identificada e proposta inicialmente no Plano Diretor de Tecnologia dos Portos em 2009<sup>(1)</sup> indicando as recuperadoras de roda de caçamba e os descarregadores de navios, como os equipamentos onde o treinamento dos operadores deveria utilizar este recurso.

Dentre os fatores que justificam o uso de simuladores para o treinamento de operadores de recuperadoras de roda de caçambas, podemos destacar os seguintes:

### **1.1 Habilidades e Experiência Requerida para os Operadores**

A operação destes equipamentos requer habilidades especiais e principalmente, experiência do operador nesta atividade.

Para uma Empilhadeira, um Virador de Vagões ou até mesmo um Carregador de Navios, a taxa operacional é fixa ou determinada por um outro equipamento da planta, ou seja, não depende da habilidade do operador. Por exemplo, se o Virador de Vagões foi projetado para 8.000 ton/hora e o ciclo deste equipamento estiver bem ajustado, o equipamento irá descarregar um lote inteiro com esta mesma taxa. O material descarregado chega para o equipamento final (Empilhadeira) com a mesma taxa que descarregou no Virador de Vagões, ou seja, os mesmos 8.000 ton/hora, pois esta taxa independe os operadores destas máquinas.

No caso das Recuperadoras a taxa de recuperação esta diretamente ligada à habilidade e a experiência do profissional que precisa conhecer a forma correta de recuperar cada produto, conhecer a fundo os recursos do equipamento e os procedimentos operacionais da empresa.<sup>(2)</sup>

Entre os próprios operadores de recuperadoras, observamos uma grande variação no desempenho (taxa de recuperação) quando, por exemplo, um operador acostumado a operar uma recuperadora em um pátio de pelotas, passa a operar uma recuperadora em um pátio de minério, pois são produtos com características diferentes e o processo de recuperação também precisa ser diferenciado. O mesmo acontece para operadores diferentes recuperando um mesmo produto onde os mais experientes ou com maior tempo na atividade, apresentam melhor desempenho. Somente os operadores mais experientes conseguem manter a taxa média proposta para o turno operando com diferentes produtos ou com diferentes condições ambientais.

Outro consenso entre os operadores, é que o produto mais difícil de ser recuperado é o Pellet Feed úmido. Trata-se de um produto muito fino e nos períodos de chuvas as pilhas ficam muito compactadas dificultando a penetração da roda de caçambas (aumenta o índice de sobrecargas no acionamento da roda de caçambas) além de gerar repetidos problemas de entupimentos nos chutes da rota deste produto.

Outra particularidade que influencia no processo de recuperação é a qualidade da formação da pilha. As pilhas bem formadas facilitam a operação e proporcionam um melhor desempenho do operador da recuperadora, porém, com frequência nos terminais portuários, temos a necessidade de recuperar um resto de material no pátio para liberar área para um novo produto ou recuperar uma pilha formada por Pá Mecânica (operação conhecida por "Rechego"). Nestes casos a taxa operacional cai muito e o operador precisa justificar os resultados junto à sala de controle.

### **1.2 Novos Operadores e Programa de Job Rotation**

Nos últimos anos no porto de Tubarão em Vitória (envolve o Terminal de Minério e o Terminal de Carvão de Praia Mole), a equipe de operação informou que a cada ano, três novos operadores são selecionados para a operação de recuperadoras de roda de caçambas.

O processo de treinamento destes novos operadores<sup>(2)</sup> demanda uns 3 ou 4 meses e segue basicamente as seguintes etapas:

- após concluir o programa de ambientação na área operacional, estes empregados passam por um treinamento teórico de 40 horas onde conhecem os procedimentos operacionais, os recursos de cada máquina e os riscos envolvidos nesta operação;
- em seguida, passam por um treinamento prático na máquina de 16 horas, acompanhado por um instrutor;
- concluído o treinamento prático, o empregado passa a operar a recuperadora assistido por um operador experiente até que o mesmo informe que o novo operador esta apto para operar o equipamento sozinho;
- a supervisão também faz uma avaliação da taxa operacional deste novo operador durante o período de treinamento e caso sua taxa tenha ficado dentro da meta por turno sem ocorrência de acidentes ou problemas com a máquina, o novo operador é liberado para operar o equipamento sozinho.

Além do treinamento para os novos operadores, a operação também promove um Job Rotation entre os operadores visando capacitá-los na operação dos vários produtos e equipamentos disponíveis no terminal.

Tanto para o treinamento dos novos operadores quanto para o programa de Job Rotation, existe uma grande demanda de treinamento prático utilizando a máquina real e como consequência, durante o período dos treinamentos ocorre uma redução na taxa de recuperação, aumentando o tempo necessário para carregamento dos navios e reduzindo a desempenho operacional do terminal.

### **1.3 Riscos Envolvidos durante os Treinamentos**

Durante o período de treinamento prático ou de Job Rotation, a máquina passa a ser operada pelo aluno e apesar de assistido por um operador experiente ou pelo instrutor, existem relatos de vários acidentes ou de ocorrências portuárias até que o operador se familiarize com o novo equipamento.

Estes acidentes podem ser evitados ou reduzidos, caso o operador possa ser treinado em um simulador instalado em um ambiente seguro até obter o conhecimento necessário para operar a máquina real com um desempenho adequado.

Atualmente a proposta da área de capacitação operacional da VALE-Portos é que somente após o aluno concluir o treinamento no simulador de recuperadoras, é que ele estará apto para operar a máquina real assistido por um operador experiente. Este período será bem menor que os 3 ou 4 meses da realidade atual, reduzindo os riscos de acidentes.

## **2 MATERIAL E METODOS**

### **2.1 Levantamento de Dados**

No início do projeto, foi constatado que não existia material disponível para consulta para uma especificação deste sistema, pois um simulador para este tipo de máquina ainda não havia sido desenvolvido. Com isso, o projeto foi dividido em três frentes de trabalho:



### **2.1.1 Primeira frente**

Busca de empresas fornecedoras de tecnologia de simulação, análise do portfólio, clientes anteriores e qualidade dos produtos destes fornecedores.

Empresas no Brasil e no exterior foram contatadas e a conclusão foi que até aquela data, nenhuma empresa havia desenvolvido esta tecnologia, mas existia um grande interesse dos fornecedores em desenvolver este equipamento.

Também foi contatado o STC (Shipping and Transport College), na Holanda, considerado o maior e mais equipado centro de treinamento em operações portuárias e marítimas do mundo, onde foi confirmado que não existia nenhum simulador já desenvolvido para treinamento de operadores de recuperadoras. A equipe do STC também informou possuir como lacuna, o treinamento de operadores na área de graneis sólidos.

### **2.1.2 Segunda frente**

Contatos com outras empresas de mineração (no Brasil e no exterior) avaliando a existência de simuladores para treinamento operacional.

As empresas contatadas informaram possuir alguns simuladores para treinamento de seu pessoal, mas nenhuma possuía simulador para recuperadora de roda de caçambas. Os simuladores relatados foram:

- simulador de trens: utilizado para treinamento de maquinistas e auxiliares de maquinistas;
- simulador de caminhão fora de estrada: utilizado para treinamento de operadores destes equipamentos – uso em minas a céu aberto; e
- simulador de escavadeiras: utilizados para treinamento de operadores destes equipamentos – uso em minas a céu aberto e alguns poucos simuladores para treinamento de equipamentos menores utilizados na construção civil.

As empresas contatadas também sinalizaram grande interesse por um produto nesta linha para treinamento dos seus operadores.

### **2.1.3 Terceira frente**

Levantar com os instrutores e com os operadores mais experientes, quais os itens ou tópicos necessários para treinar os operadores.

Contatamos os instrutores do terminal de Tubarão no Espírito Santo e do Terminal de Ponta da Madeira no Maranhão. Houve consenso e unanimidade que o processo de treinamento dos novos operadores de recuperadoras utilizado na época era deficiente.

Para entender melhor o tema, a equipe deste projeto participou do treinamento inicial de novos operadores do Terminal de Tubarão e acompanhou através de visitas esporádicas na máquina, o período de operação assistida de um dos alunos. A cada visita, a equipe realizava uma entrevista com o aluno e outra com o operador experiente que o acompanhava, onde foi possível identificar os erros mais frequentes cometidos pelos novos alunos.

Por outro lado, a equipe verificou que os operadores mais experientes também possuíam vícios e cometiam erros de operação e após consulta gerencial, descobriu que não existia nenhum programa de reciclagem ou novos treinamentos para os operadores considerados “experientes”.

## 2.2 Especificação do Produto a ser Desenvolvido

Antes de escrever a especificação funcional do sistema a ser fornecido, a equipe visitou os dois simuladores existentes na VALE (o de trens e o de caminhão fora de estrada) para conhecer os recursos disponíveis.

Como a VALE opera com vários produtos diferentes e com máquinas com características construtivas diferentes, que influenciam na forma de operar, ficou decidido que o simulador deveria possibilitar o treinamento nos diferentes equipamentos e produtos disponíveis e nas máquinas com diferentes posição de cabine. Desta forma, definimos uma matriz de produtos X máquinas a serem contempladas no simulador conforme tabela a seguir:

**Quadro 1:** Matriz de máquina X produto X posição da cabine

MÁQUINA	CAPACIDADE NOMINAL (Ton/hora)	PRODUTO	POSIÇÃO DA CABINE DE OPERAÇÃO
RC-04	8.000	Granulado, Sinter feed, Pellet feed e Pelotas	Sob a lança (lateral esquerda)
ER-02	8.000	Granulado, Sinter feed, Pellet feed e Pelotas	Sobre a lança (centralizada)
RC-3PP7	6.000	Pelotas	Sobre a lança (lateral direita)
RC-07	2.000	Carvão e Coque	Sobre a lança (lateral direita)

Em função da diversidade de máquinas, resolvemos adotar uma lista padrão de alarmes e apenas um padrão de telas da IHM (Interface Homem Máquina). Assim, a equipe elegeu a máquina RC-3PP7, por ser a mais nova do terminal de Tubarão, como a máquina de referência para estes dois produtos.

Dos 563 itens de alarme existentes na máquina real, escolhemos os 134 mais significativos e com maior ocorrência durante a operação da máquina. Além dos alarmes, também incluímos todos os principais Procedimentos Operacionais relacionados ao processo de recuperação de granéis.

## 2.3 Modelagem Matemática dos Produtos

Durante a discussão do escopo e da solução de engenharia com alguns fornecedores contatados, verificamos a necessidade de incluir no escopo a modelagem matemática dos produtos a serem manuseados para possibilitar uma interação realista e de forma “on line” da roda de caçamba com a pilha de produtos, além da representação de eventos na pilha como os desmoronamentos, comportamento em função do estado do material (úmido ou seco) e principalmente, precisão na taxa de recuperação em função do tipo de operação.

A modelagem matemática é um recurso pouco aplicado nos simuladores existentes no mercado, pois necessita de uma unidade de processamento dedicada, de interfaces aceleradoras de vídeo e de um modelo matemático que geralmente é desenvolvido em centros de pesquisa e universidades, encarecendo bastante o produto final.

O produto modelado matematicamente é processado em tempo real e possibilita uma fluidez e uma interação com a roda de caçambas bem mais próxima da

realidade, uma maior exatidão da deformação da pilha a cada passada da roda de caçamba e uma maior precisão do volume retirado da pilha.

Caso a opção fosse de não desenvolvermos a modelagem matemática, a deformação da pilha poderia até ser montada graficamente (recurso adotado em vídeo games de mercado), porém, o volume de material retirado da pilha deveria ser estimado em função de algumas ou de várias condições de operação, reduzindo a margem de precisão do produto final.

Optamos pela inclusão no escopo da modelagem matemática o que representou um custo adicional de 26% no produto com um prazo extra de cinco meses para desenvolvimento. O resultado final comprovou o acerto na decisão tomada.

## 2.4 Recursos Disponíveis no Simulador de Recuperadora

Analisamos o hardware dos simuladores disponíveis no mercado e concluímos que os produtos possuem basicamente as mesmas características e são compostos por cinco componentes principais:<sup>(3)</sup>

- uma cabine de simulação similar à cabine da máquina real;
- uma estação do instrutor onde é possível definir a máquina a ser utilizada, o produto a ser recuperado, as condições da pilha, condições ambientais (chuva, sol, etc.), etc;
- uma tela de overview onde é possível visualizar toda a operação de um ponto de vista fora da máquina;
- Racks de computadores; e
- Software de simulação contemplando cenários e modelagem 3D.

Para o simulador de recuperadora, decidimos manter esta estrutura de hardware e concentrar o esforço no detalhamento do software que deveria cobrir todas as principais funcionalidades da máquina real. A Figura 2 apresenta um resumo dos componentes do Simulador de Recuperadora e suas funcionalidades.



**Figura 2.** Resumo de funcionalidades X componentes do simulador.

## 2.4.1 Cabine de simulação

A cabine é uma cópia fiel do espaço físico utilizado pelo operador na máquina real e possui:

- poltrona com as consoles, comandos e pedal homem morto,
- sistema de CFTV com quatro câmeras que apoia o operador na operação da máquina,
- sistema que emula a comunicação pelo rádio VHF entre operador e outras máquinas ou sala de controle,
- uma IHM (Interface Homem Máquina) onde o operador define os parâmetros para operação da máquina;
- seis telas LCD de 65" que simula a visão do operador através das janelas da cabine e cobre um raio de 180 graus.

Na Figura 3, são apresentados alguns detalhes da cabine:

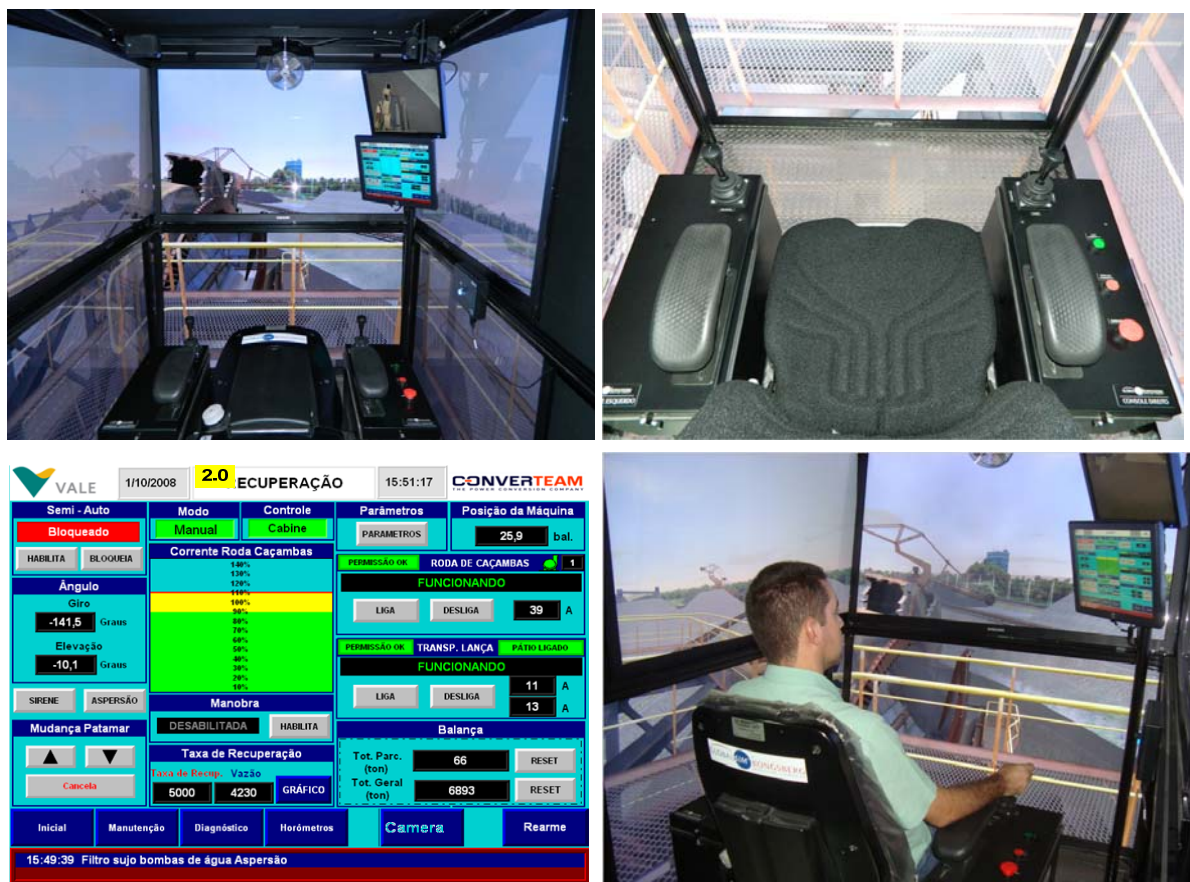


Figura 3. Detalhes da Cabine de Simulação.

## 2.4.2 Estação do Instrutor

A Estação do Instrutor possui os recursos necessários para criar os cenários onde os alunos serão treinados, incluir defeitos na máquina, alterar as condições climáticas (dia/noite, chuva/sol, vento/poeira, etc.), definir condições das pilhas e dos materiais e gerar a pontuação dos alunos após uma seção de treinamento.

Na Figura 4, é apresentada uma foto da estação do instrutor.<sup>(4)</sup>



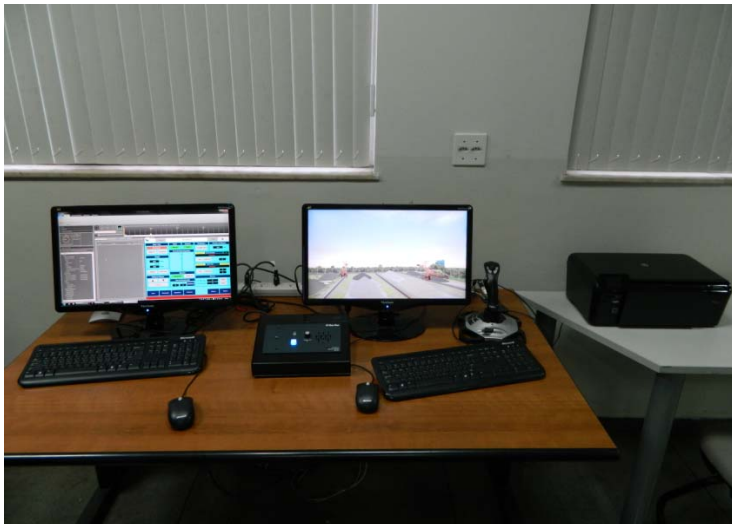


Figura 4. Estação do Instrutor

### 2.4.3 Tela de Overview – Estação do Instrutor

Além do monitor de comando do software, o instrutor possui também uma tela de overview onde é possível posicionar uma câmera ao lado da máquina por exemplo, e acompanhar “on line” toda a operação realizada pelo aluno, como se o instrutor estivesse fisicamente no pátio ao lado da máquina real.

Este recurso permite ao instrutor, observar com detalhe a formação das bancadas feitas pelo aluno e o posicionamento correto da máquina na pilha.

Na Figura 5, são apresentadas algumas imagens possíveis da tela de overview.<sup>(4)</sup>

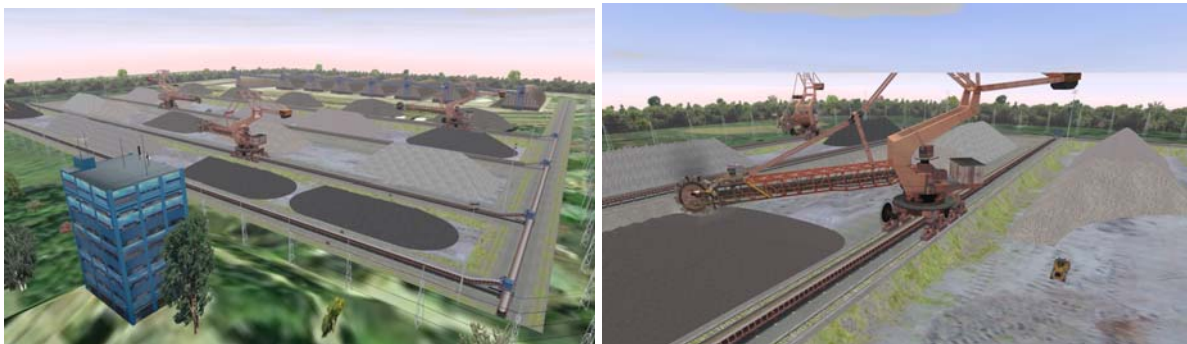


Figura 5. Tela de Overview do instrutor

### 2.4.4 Racks de Computadores e o Software

- **Hardware:** Todo o software de simulação, o software de visualização em 3D e o modelo matemático dos produtos, roda em computadores industriais de alta performance instalados em dois Racks. Ao todo são 9 computadores interligados em rede, uma unidade para controle de sons e uma unidade KVM.
- **Software de Visualização:** O software de visualização proporciona para o aluno dentro da cabine, uma visão em 180 graus muito próxima da visão que teria em uma máquina real. Para aumentar este realismo, o cenário ao redor da máquina real é fotografado e todo repassado para o modelo visual com elevado grau de definição. Da mesma forma, as instalações físicas e outros equipamentos no raio de visão do operador são fotografados no detalhe para garantir a qualidade visual.



Figura 6. Imagens na cabine de Simulação.

- **Software de Controle da Simulação:** Pelo fato deste simulador ter sido o primeiro do mercado para este tipo de máquina e ainda incorporar técnicas de modelagem matemática dos produtos (minério granulado, sinter feed, pelotas, carvão e coque), foi necessário estudar e descrever antecipadamente, todos os recursos da máquina, lista dos alarmes e requisitos de comportamento dos materiais interagindo com a máquina para, em seguida, a empresa contratada estudar e avaliar a possibilidade de desenvolver o software para suportar estes requisitos.

O software final possui uma série de recursos que o instrutor pode utilizar para criar treinamentos mais simples (com baixo grau de dificuldade) até treinamentos elaborados com várias situações e ocorrências operacionais, aumentando o grau de dificuldade visando capacitar inclusive os operadores mais experientes.

A lista abaixo apresenta os principais recursos disponíveis:<sup>(4)</sup>

- Uma tela touch screen que emula a IHM existente na máquina, onde o operador parametriza a máquina para início de operação, visualiza os alarmes e defeitos, etc.
- Uma tela que emula a imagem das 4 câmeras de CFTV existentes na máquina real e que auxiliam o operador nos movimentos de translação e giro da máquina;
- Um editor de cenário onde o instrutor pode inserir uma ou mais máquinas recuperadoras para o treinamento, insere equipes de manutenção na berma da máquina, pá mecânica operando com recheio na mesma pilha que a máquina estiver recuperando, etc.;
- Um editor de máquina onde o instrutor escolhe uma das 4 máquinas disponíveis no simulador (ER02 e RC04 para minério de ferro, RC-3PP7 para pelotas e RC07 para carvão). Estas máquinas têm as mesmas características mecânicas e elétricas das máquinas reais;
- Um editor de pilha onde o instrutor seleciona o tipo de produto a ser recuperado (minério granulado, sinter feed, pelotas, carvão e coque), o tipo de formação da pilha (bem formada, em formação ou pilha parcialmente recuperada), a condição do produto (úmido ou seco) e o tipo de empilhamento (Windrow, Coneshell, multi-cones, etc);
- Um editor de eventos onde o instrutor pode inserir um evento durante um treinamento, podendo ser uma mensagem gravada da sala de controle solicitando uma redução da taxa de recuperação (sistema que emula o rádio VHF) ou uma falha em um dos componentes da máquina;

- Um editor de pontuação onde o instrutor define para cada falha disponível no simulador uma regra de pontuação. Esta regra precisa ser definida antes da criação dos cenários para evitar rodadas de treinamento com pesos diferentes. Ao final de cada treinamento é possível gerar um relatório com uma lista das falhas cometidas pelo operador e a sua nota, bem como relatórios de performance dos operadores por terminal portuário e relatório de treinamentos em um período de 60 dias a frente;
- Um editor de sons, onde é possível gravar uma nova mensagem ou um novo som para uso em cenários de treinamento;
- Um editor de condições ambientais, onde é possível definir, por exemplo, a hora do dia (claro ou escuro), operação com chuva ou sol, com ventos/poeira ou não etc;
- Uma tela de acompanhamento da performance do aluno com a taxa instantânea em ton/hora, um gráfico de movimentos efetuados pelo operador com a manete do giro, a corrente no motor da roda de caçambas, etc;

O software também permite incluir uma segunda máquina no treinamento, operada virtualmente, que geralmente é utilizada para simular uma recuperação com duas recuperadoras em uma mesma pilha simultaneamente.

A Figura 7 a seguir mostra um dos cenários com as duas máquinas em operação.



**Figura 7.** Cenário com duas recuperadoras em uma mesma pilha.

Os seguintes softwares foram utilizados para desenvolvimento deste simulador:

- Para criar o modelo 3D da máquina utilizou-se o software de mercado 3D Creator;
- Para o cenário do local ao redor da máquina, utilizou-se o software Open GL 3.1 e Open Scene Graph (OSG);
- Para o software de controle do simulador foi utilizado C++;
- Para emular a IHM utilizou-se o C# - WPF (Windows Presentation Foundation).



### **3 RESULTADOS OBTIDOS**

O simulador foi entregue para a VALE no início de abril/2012 e os primeiros treinamentos aconteceram em maio em função da necessidade de criação dos cenários, teste dos pesos no editor de pontuação, etc. Com isso, os resultados ainda são preliminares.

O modelo matemático dos produtos, que é um item inédito para este tipo de simulação, proporcionou um maior realismo nas imagens de deformações nas pilhas, na visualização das bancadas e possibilitou uma boa interação da roda de caçambas com o produto gerando esforços na máquina e apresentando de forma mais realista as sobrecargas e atuação de proteções.

Existem três principais resultados esperados neste projeto.

#### **3.1 Segurança**

Para os alunos, que passam a utilizar a máquina real por um tempo menor (maior parte no simulador) durante o período de treinamento. Além disso, consideramos também a redução das ocorrências portuárias, uma vez que a máquina real estará sendo menos operada por operadores mais treinados e mais experientes.

Com a implantação da Trilha Técnica (grade de treinamentos e habilidades mínimas necessárias para cada nível) para os operadores de recuperadoras nos terminais portuários, o simulador chega como uma ferramenta importante proporcionando uma metodologia objetiva de avaliação.

#### **3.2 Desempenho dos Operadores**

Melhoria do desempenho dos operadores através do treinamento assistido e da correção de erros e vícios de operação que podem elevar a taxa de recuperação em um primeiro momento, mas que prejudica a média em longo prazo devido aos esforços provocados na máquina gerando quebras inesperadas.

A expectativa é que a taxa média dos operadores aumente após conclusão do primeiro ciclo de treinamento no qual deverão ser treinados cerca de 80 operadores do Complexo de Tubarão.

#### **3.3 Aumento de Produtividade do Terminal**

Com o treinamento em um ambiente virtual, será possível também, reduzir o tempo de uso da máquina real para o treinamento dos novos operadores e, com isso, melhorar a produtividade operacional, uma vez que durante os 3 ou 4 meses de treinamento na máquina real, a performance dos treinandos chega a ser de 30% menor, comparado a um operador experiente.

Também é esperado uma redução do índice de quebras da máquina.

O Quadro 2 apresenta os cálculos dos ganhos esperados após o start-up do projeto:



**Quadro 2:** Cálculo da estimativa de ganhos esperados

ITEM	DESCRIÇÃO	FÓRMULA	VALOR	UNIDADE
A	Chegada de novos operadores em Tubarão (média últimos 3 anos)		2	Por ano
B	Tempo médio para aprender a operar uma recuperadora (operando com supervisão)		3	Meses
C	Taxa média de recuperar durante período de treinamento		5.560	Ton/h
D	Taxa média de um empregado experiente		7.200	Ton/h
E	Perda de produção média	(D - C)	1.640	Ton/h
F	Horas de operação média por dia (máquina recuperando)		3	horas
G	Perda de produção diária	(E x F)	4.920	Ton/dia
H	Número de dias trabalhado no mês (considerando escala de trabalho - turno)		18	dias
I	Perda de produção mês por empregado novo	(G x H)	88.560	Ton/mês
J	Perda de produção total dos empregados	(I x A)	177.120	Ton/mês
L	Perda de produção anual	(J x B)	531.360	Ton/ano

466.560 ton é o volume estimado não embarcado em função do treinamento que é realizado nas recuperadoras com os novos operadores - supervisionado por um operador experiente.

## 4 DISCUSSÃO

O Simulador desenvolvido permite que o instrutor crie seus próprios cenários de treinamento incluindo a seu critério, uma lista de falhas e condições em cada um. As falhas consideradas como automáticas como, por exemplo, uma sobrecarga no acionamento da roda de caçambas, foram classificadas como automáticas e aparecem em todos os cenários independentes da seleção do instrutor.

Esta flexibilidade foi considerada como uma das maiores vantagens deste sistema quando comparado com outros simuladores de mercado (simulador de trens ou simuladores de caminhões fora de estrada) onde os cenários são fixos e o aluno recebe uma sequência de treinamentos para ser executado em um determinado período de tempo.

Outra grande vantagem é que neste simulador, foi disponibilizado um sistema de pontuação facilitando a avaliação dos alunos. Em outros simuladores esta facilidade não foi encontrada e por este motivo decidimos criar esta ferramenta que gera um relatório após cada rodada de treinamento, indicando as falhas cometidas pelo aluno, os volumes recuperados, sua taxa efetiva, um gráfico de produção e uma nota final. A nota final é uma combinação da nota relativa a performance (taxa efetiva obtida pelo aluno) e do número de falhas cometidas, ou seja, o aluno precisa apresentar uma produtividade compatível com as metas do terminal, porém sem cometer erros e ou sem deixar de cumprir os procedimentos operacionais.

A figura a seguir apresenta um exemplo dos relatórios disponíveis no sistema.



## RELATORIO DE AVALIAÇÃO DO ESTUDANTE

	Nome:	Souza	Matrícula:	01826968
	Sobrenome:	Fabio		
	Data de nascimento:	12/9/1976	Ultimo treinamento:	3/30/2012
	Tempo na função/operador:	11/1/2000	Categoria do operador:	Nível 2
	Porto onde trabalha:	Tubarão		

Condicao:	Teste Pilha completa (EK02)	Data e hora:	03/03/2012 12:21:06 PM
Meta de Volume	3,388 Toneladas	Tempo Total de simulacao	00:25 horas
Taxa Beta programada	7,200 Toneladas		
Total Recuperacao	1,819 Toneladas	Tempo Beta Operado	00:25 horas
Taxa Beta realizada	4,250 Toneladas		

Machina	EK-02	Material / Pilha	eSinterFee
---------	-------	------------------	------------

**Total de Erros:**

Lista Alarme do JHM	0	Alar mes - Bivacao	0	Alar mes - Giro	0
Alar me - Transicao	0	Alar mes - Rosa de Cacamba	3	Alar mes - TR da lanca	0
Alar mes - Enrdador cabos	0	Alar mes - Bétrica	0	Alar mes - Sistemas Auxiliares	0
Alar mes - Protecões	0	Alar mes - Comunicao do PLC	0	Alar mes - Regras de Operacao	0
Alar mes - Segurança e Meio Ambiente	0	Alar mes - Regras de Comunicao	0	Alar mes - Regras de Bldenda	0
Alar mes - Outros	0	Condições de partilha	0	Diagnósticos	0

Produtividade	90.70%	% Cumprimento das procedimentos	91.00%	Nota Final do Aluno	64.80%
---------------	--------	---------------------------------	--------	---------------------	--------

**Incidentes**

Tempo de Simulação	Severidade	Pontos Perdidos	Causa
12:10:48		3	35. Overload Bucket Wheel Motor
12:10:48		3	35. Overload Bucket Wheel Motor
12:10:48		3	35. Overload Bucket Wheel Motor

**Figura 8.** Relatório de Avaliação do Aluno.

Existem outros relatórios que permitem uma comparação entre operadores de um mesmo terminal ou de um mesmo nível, ou ainda relatórios que definem a agenda de treinamentos para um período de 60 dias à frente.

Como lições aprendidas neste projeto, destaca-se a importância na escolha da empresa fornecedora. A parceria com uma empresa com know how na área de simulação voltada para treinamento foi fundamental para obtermos bons resultados. Destacamos que no processo licitatório o critério de seleção não foi o de menor preço e sim baseado em critérios técnicos, experiência no desenvolvimento de simuladores e experiência em processos de treinamento utilizando este tipo de

ferramenta o que aliado a experiência dos profissionais da VALE na operação de recuperadoras de roda de caçambas garantiu o sucesso.

## 5 CONCLUSÃO

O produto desenvolvido impressiona pela qualidade das imagens, pelo realismo dos cenários e pelos recursos disponíveis para treinamento dos operadores. Operadores experientes que participaram do teste final de aceitação relataram que a operação no simulador está muito próxima da operação em uma máquina real. O resultado positivo do simulador virou notícia na imprensa nacional como um projeto de sucesso na VALE.

NOVA TECNOLOGIA

# Treinamento em 3D na Vale

5ª ABREDO 31 DE DEZEMBRO DE 2011 A GAZETA

Funcionários que atuam no porto vão utilizar simulador a partir de janeiro

DE NISE ZANDONADI dzandonadi@redgazeta.com.br

A partir do próximo mês, a Vale utilizará um simulador de recuperadora de roda de caçambas para o treinamento dos funcionários que atuam no Porto de Tubarão, em Vitória. O equipamento e o programa (software) reproduzem, em um ambiente 3D, a recuperação de granel sólido da mesma forma como é feito pelas máquinas no pátio de estocagem.

O simulador foi desenvolvido em parceria com a empresa norte-americana GlobalSim a pedido da Vale. Foram investidos R\$ 3 milhões e a previsão é de que a tecnologia comece a ser utilizada nos terminais portuários da Vale em todo o mundo a partir de 2012.

O programa permite que o funcionário entre em uma cabine adaptada, onde o software simula a recuperação de minério de ferro, carvão e pelotas em diferentes cenários. O programa envolve condições adversas de clima, como chuva, vento e até restrições ou

defeitos na recuperadora.

**MÁQUINAS**

Num ambiente de realidade virtual, as características das recuperadoras, como velocidade dos movimentos de giro, elevação e translação, são simuladas. O software possibilita a operação de duas máquinas em uma mesma pilha de granéis, bem como a execução de alarme e de sobrecarga dependendo do tipo de operação.

Para o gerente-geral de inovação e desenvolvimen-

to portuário da Vale, Gustavo Mucci, o próprio sistema armazena a pontuação recebida em cada sessão de treinamento. Dessa maneira, é possível acompanhar a performance dos alunos durante a operação.

Mucci explica que o equipamento permite fazer uma modelagem matemática de todos os produtos que são manuseados como minério de ferro, pelotas, carvão e coque. O recuperador de roda de caçamba pode medir 39 metros de altura.

A Vale pretende iniciar os treinamentos em Tubarão já em janeiro de 2012. O equipamento será também instalado nos portos da empresa em São Luiz e no Rio de Janeiro, informa Mucci. Nas outras áreas da Vale onde a ferramenta será usada, serão empregados os cenários dos pátios de cada porto.

O software mostra toda a área do pátio de estocagem do Porto de Tubarão, que é hoje o maior exportador de minério de ferro e pelotas do mundo.

**OUTROS SIMULADORES**

**Novidades**

Além do simulador de recuperadora, outras ferramentas estão sendo usadas para o treinamento e qualificação na mineradora.

▼ **Caminhão fora de estrada**

São equipamentos que simulam a operação dos caminhões gigantes usados nas minas da Vale. Os equipamentos disponibiliza, em telões, que reproduzem os roteiros das minas.

▼ **Simulador de trens**

Destinado ao aperfeiçoamento dos maquinistas da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), estes simuladores reproduzem as operações ferroviárias. A tecnologia está instalada no centro de engenharia da Vale tem, ainda, um simulador portátil destinado à pesquisa de engenharia ferroviária.

▼ **Testes**

Para simular a operação de locomotivas, a Vale iniciou os testes com um novo simulador, desenvolvido em parceria com a Escola Politécnica da USP. Em funcionamento no centro de engenharia, em Vitória, o equipamento recebeu investimentos da ordem de R\$ 2,5 milhões e irá reproduzir, em 3D, a malha ferroviária da Vale.

▼ **Helper dinâmico**

É uma locomotiva que se acopla ao trem em movimento, auxiliando nas operações ferroviárias em acíves. Hoje, o procedimento é feito com o trem em movimento, por meio da aproximação dinâmica, que permite uma redução de até 5% no consumo de combustível

▼ **Mapeamento**

Esta tecnologia é baseada no uso de scanner a laser 3D que coleta as imagens e as envia a um servidor central que as processa. Inédito no mundo, o sistema gera as imagens em 3D e as envia para um computador no centro de controle operacional do porto onde estiver instalado.

Em ambiente de realidade virtual, operador recebe treinamento



Figura 8. Reportagem sobre tecnologia utilizada para treinamentos. (6)

Ainda em função dos bons resultados do simulador de recuperadora, a VALE decidiu antecipar o investimento para desenvolver o simulador para os Descarregadores de Navios de Granéis utilizando GRAB's (concha para movimentação do produto) – mais outra iniciativa pioneira para este tipo de equipamento. A empresa contratada já iniciou os trabalhos e até meados de 2013 já teremos mais este simulador funcionando.

Os primeiros ganhos já estão sendo confirmados e, pelos resultados até o momento, concluímos que a decisão de investirmos no desenvolvimento deste produto foi



adequada, garantindo em primeiro lugar uma maior segurança para o treinamento dos operadores, um aumento de qualidade no treinamento e, certamente, os ganhos de produtividade no processo serão confirmados nos próximos meses.

Outro ponto importante a ser abordado foi a equalização do sistema de avaliação dos alunos, que passou a ser feito através dos relatórios emitidos pelo simulador. Atualmente, nos terminais portuários da VALE existem três níveis de operadores para recuperadoras, sendo o nível um o de entrada, o nível dois o intermediário e o nível três o nível dos operadores mais experientes e conseqüentemente com salários mais altos.

Antes do simulador as promoções dependiam do tempo de serviço e da avaliação subjetiva do supervisor. Como estas promoções envolvem aumento de salário para o operador, o simulador vem proporcionar uma avaliação justa e equalizada para todos apresentando uma nota que mantém um critério único de avaliação. O superior imediato continua sendo consultado sobre a nota obtida pelo aluno no simulador e pode apresentar seus comentários porem a nota obtida no simulador fica registrado. Qualquer alteração neste critério depende do Gerente da Área envolvida.

## REFERÊNCIAS

- 1 Diretoria de Portos e Navegação DIPN – Plano Diretor de Tecnologia – PDTEC, 2009.
- 2 Gerencia de Gestão de Operação Portuária GAOPG, Manual de treinamento de operadores de Recuperadora, 2010.
- 3 Gerencia de Engenharia de Automação Portuária GAAPG, Especificação para Contratação do Desenvolvimento do Simulador de Recuperadora - RT-300T-00-21005 R2 (ER) Rev1, 2010.
- 4 Globalsim S.A., Especificação de Requisitos do Sistema - EG-3000TU-J-39123 Ver 0, 2011.
- 5 Sistema de Gestão de Investimento Corrente da VALE – GIC – 2010.
- 6 Jornal “A GAZETA”– Vitória 30 de dezembro de 2011