

A Realidade Virtual como Ferramenta de Treino para Montagem de Cablagens Eléctricas

Luís Grave Cristina Escalreira António F. Silva
Centro de Computação Gráfica
Coimbra / Guimarães
{Luis.Grave, Cristina.Escalreira, ASilva}@ccg.pt

Adérito Fernandes Marcos
Centro de Computação Gráfica/Universidade do Minho, Dep. de Sistemas de Informação
Coimbra / Guimarães
Aderito.Marcos@ccg.pt / marcos@dsi.uminho.pt

Sumário

A realidade virtual (RV) é aplicada em diferentes áreas de interesse, entre as quais se insere a indústria automóvel. A capacidade de RV em criar simulações realísticas de dados, objectos e ambientes, associado à possibilidade de interagir e manipular de uma forma intuitiva com os mesmos, tem sido um chamariz neste domínio, abrindo oportunidades de aplicação em diferentes sectores dos quais a prototipagem, a simulação de situações de risco, a visualização e o treino de processos fazem parte.

Este artigo foca em especial uma aplicação de RV direccionada para o ensino e treino de operadores de montagem na indústria de cablagens eléctricas para a indústria automóvel.

O artigo começa por introduzir o tema de uma forma genérica apresentando alguns conceitos sobre ambientes virtuais, ensino e treino que servirá de apoio à descrição do problema e dos objectivos. Depois é apresentado o sistema de realidade virtual começando por referir os requisitos necessários para a sua elaboração e expondo em seguida a estrutura, a modelação geométrica e a configuração do mesmo. O artigo continua, apresentando as metáforas de interacção utilizadas, seguido de uma exposição sobre o método adoptado para testar e validar a ferramenta em ambiente laboratorial e fabril. Neste ponto é apresentado uma análise dos resultados obtidos. Finalmente, são tecidas as conclusões e indicado novos caminhos a percorrer nesta área de conhecimento.

Palavras-chave

Ambientes virtuais, treino, ensino, metáforas de interacção, realidade virtual.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade das empresas introduzirem soluções inovadoras que permitam melhorar o desempenho das suas operações é cada vez maior dada a competitividade a que estas estão sujeitas. A utilização eficaz das potencialidades que a tecnologia oferece constitui um objectivo base em cada empresa, independentemente do sector de actividade a que pertence. Actualmente a indústria automóvel preocupa-se com o ensino e treino no processo de produção, por forma a minorar os tempos de aprendizagem associados ao mesmo.

Desta forma, as empresas investem em pesquisa e investigação de ferramentas tecnológicas capazes de otimizar e simplificar o ensino e treino dos processos de produção e consequentemente diminuir o seu tempo e custos associados. Neste cenário, a realidade virtual surge como uma das várias apostas tecnológicas identificadas pela indústria automóvel.

A indústria de cablagens eléctricas para automóveis sente particularmente este problema devido à grande dependência das suas linhas de montagem da mão-de-obra qualificada [Grave 2000]. Com efeito, cada linha de montagem de uma cablagem necessita, para cada turno, de cerca de trinta operários especializados. Esta necessidade agrava-se devido à formação que cada operário tem forçosamente de receber antes de ser integrado nas linhas de montagem. A grande diversidade de cablagens em produção simultânea numa fábrica impossibilita a existência de simuladores físicos das linhas de montagem, o que obriga os formadores a colocar os operários nas linhas de montagem depois de terem recebido uma formação quase exclusivamente teórica.

A presença, na linha de montagem, destes operários diminui, quer a velocidade de montagem da linha, quer a qualidade do produto final.

Neste contexto, a realidade virtual aparece como uma possível solução para resolver os vários problemas de formação, nomeadamente:

- Facilidade em modelar novas cablagens, ou conjuntos de cablagens;
- Não desperdício de material;
- Possibilidade de treino repetido de uma operação, ou um conjunto de operações com o intuito de melhorar o desempenho;
- Por último, e talvez mais importante, cobre os principais aspectos da formação prática: localização dos objectos (memória espacial), gestos inerentes à montagem (memória gestual) [Mine 1997] e sequência de operações a realizar.

A memória espacial consiste em relembrar onde um objecto se encontrava e a memória gestual em recordar todos os gestos e esforço gasto nos mesmos para produzir uma determinada acção ou sequência de acções.

A realidade virtual, através de técnicas de imersão e manipulação directa de objectos, consegue transmitir ao utilizador a sensação de um espaço físico (virtual) que o rodeia e com o qual ele interage, contribuindo para a memorização do seu futuro posto de trabalho [Sá 1999].

No entanto, a grande maioria de aplicações existentes que usam tecnologias de realidade virtual, estão orientadas para serem utilizadas por especialistas que dispõem muito tempo na aprendizagem da própria ferramenta. O grande desafio na concepção e desenvolvimento da ferramenta aqui descrita foi encontrar uma solução intuitiva e de fácil utilização, direccionada para operários sem experiência em RV, para que, num curto espaço de tempo, utilizassem o sistema para treino das cablagens eléctricas onde iriam ser integrados. Desta forma, houve a necessidade de dedicar uma particular atenção às metáforas de interacção por forma a conseguir uma linguagem gestual aproximada da realidade. Este foi um dos principais problemas que se teve de enfrentar, conjuntamente com a complexidade da cablagem a simular.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O sistema de realidade virtual foi desenvolvido no âmbito de um projecto mobilizador do PEDIP II onde o parceiro industrial foi o cliente. O problema apresentado pela indústria de cablagens automóveis incidiu sobre o sistema de ensino e treino do processo produtivo vigente nas unidades fabris da mesma.

As razões que motivaram um estudo de efectividade de auxiliares de ensino e treino na linha de montagem fundamentam-se sobretudo nos seguintes aspectos:

- Elevado número de formandos/ano que passam pelo processo de ensino e treino nas diversas instalações fabris da indústria de cablagens automóveis.
- Custo elevado da criação de postos de trabalho apenas para tarefas de ensino e treino.

- As dificuldades sentidas pelos responsáveis da formação em transmitir aos formandos os conhecimentos necessários para a execução das tarefas que lhes são destinadas.
- Risco elevado ao nível do controlo de qualidade final de que são constituídas as tarefas efectuadas na linha de montagem. Estando estas constrangidas em termos temporais, são de extrema importância para a qualidade final do produto. Com efeito num muito curto período de tempo (cerca de quinze minutos) é feita a montagem completa de uma cablagem.
- A existência de fábricas em que da formação teórica se passa logo para a linha, implicando que o andamento global da linha seja atrasado visto que, tem de permitir que os novos trabalhadores se adaptem ao posto de trabalho.

Estes factores críticos conduziram ao estudo e desenvolvimento de um sistema de Realidade Virtual que permitisse o ensino e treino das sequências de montagem fora das linhas de produção, levando consequentemente a uma significativa redução de custos e a uma avaliação prévia das capacidades dos futuros operadores. O sistema é útil especialmente para unidades fabris sem centro de treino que normalmente usam as linhas de montagem para este efeito, com os prejuízos para a produção daí decorrentes.

Outra vantagem associada ao uso do ambiente de ensino e treino virtual foi permitir testar, fora da linha de montagem, determinadas tarefas consideradas críticas para a produção. Apesar de não ter sido possível, com base nos tempos do simulador, aferir tempos totais de produção, foi contudo exequível a produção de estimativas aproximadas. Deste modo, foi colocada ao dispor das unidades fabris uma ferramenta que lhes permitiu avaliar determinadas tarefas, através da elaboração de estatísticas que, para além de melhor identificarem os pontos críticos, ajudou aos responsáveis pela engenharia dos processos a planificarem novas estratégias de produção.

2.1 Objectivo

O ambiente de treino virtual teve como objectivo representar o mais fidedignamente possível um posto de trabalho para montagem de cablagens eléctricas. Por isso foi necessário contextualizar a disposição e funcionamento das linhas de montagem, bem como as sequências de montagem em ambiente fabril.

2.1.1 Linhas de montagem

Na secção de montagem das cablagens, estão dispostas diversas linhas de montagem circulares, como exemplificado na fig. 1. Cada linha de montagem consiste numa estrutura metálica sobre a qual estão fixos conjuntos de painéis verticais, que circulam a uma velocidade pré-estabelecida, de modo a satisfazer a cadência de produção pretendida.

Em cada painel estão, por sua vez, dispostos suportes estrategicamente localizados sobre os quais vão sendo

colocados os componentes que constituem a cablagem. Ao longo de cada linha de montagem, estão colocados diversos operários em posições pré-definidas – um por painel – designados operadores de linha. Cada operador de linha é responsável por um conjunto de sub-tarefas, ou operações elementares, do processo de montagem. Entre estas referem-se a título de exemplo a colocação de cabos sobre o painel, cabos estes previamente preparados na secção de corte e cravação, a fixação de caixas e outros componentes, o encaixe de terminais nos conectores correspondentes, a colocação de tubagens e clips e o enfitamento de fios.



Fig. 1 Linha de montagem típica.

2.1.2 Sequências de montagem

Numa cadeia de produção, uma cablagem eléctrica é produzida através de várias sequências encadeadas, cada uma equivalendo a um conjunto de operações simples. Por exemplo: colocação de peças no painel, ligação de fios eléctricos (simples, duplos ou triplos) entre as várias peças do painel, realização de enfitamento de um conjunto de fios, colocação de epis, detecção e marcação de eventuais erros, etc.

Cada operador desempenha várias sequências por posto de trabalho e utiliza um estendal para o aprovisionamento dos objectos que precisa.

Numa hipotética reprodução virtual de todas as sequências e, por conseguinte, de todas as tarefas que os operadores realizam em ambiente fabril, surgiram alguns desafios de implementação, nomeadamente:

- simulação do enfitamento de fios;
- percepção de toque dos objectos virtuais;
- simulação do encaixe de um fio no alvéolo de uma peça (movimento e som associado);
- simulação de marcação de erros (através de “fitas autocolantes” próprias);
- validação da parte eléctrica da cablagem;
- representação do estendal.

2.2 Vantagens da Ferramenta

O uso do sistema de Realidade Virtual como uma ferramenta de ensino e treino na montagem de cablagens eléctricas apresentou as seguintes vantagens:

- A não existência de desperdício material;
- A possibilidade de repetição de sequências;
- A independência entre postos de trabalho, isto é, a realização de um posto não implica a realização prévia dos anteriores;
- Ensino passo-a-passo de todas as operações em cada sequência;
- A identificação automática de operações correctamente realizadas;
- A possibilidade de obtenção dos tempos realizados por cada passo e tempo global de execução de uma sequência.
- A necessidade de conhecimentos informáticos ser praticamente nula;
- Apoio ao formador na avaliação de competências e apetências.

Concluindo, o uso de um sistema deste género permite, de uma forma rápida e completa, a aprendizagem e treino da memorização de sequências de tarefas, a memorização espacial e gestual associada à resolução do posto de trabalho virtual.

3. O SISTEMA

3.1 Requisitos do Sistema de Realidade Virtual

Os principais factores seleccionados para o desenvolvimento de um Sistema e para a aquisição de material foram de ordem económica, tecnológica e humana. O Sistema de Realidade Virtual teria de ter um custo o mais adequado possível ao problema que pretendíamos resolver para poder ser utilizado numa sala de formação e facilmente ser replicado noutras salas de formação, ou seja, um custo que comporte a escalabilidade. Estando a tecnologia de Realidade Virtual num estado de evolução rápida e estabilização, ainda é raro encontrar sistemas completos de ensino e treino utilizando estas tecnologias devido às próprias limitações bem como pelos custos elevados que ela ainda implica. O terceiro factor relaciona-se com o nível de usabilidade por parte do utilizador final. Este é talvez o factor mais importante porque implica a aceitação do sistema por parte dos utilizadores que o vão usar, nomeadamente os formandos e formadores, cuja reacção à solução encontrada determina o seu sucesso. Sem uma boa aceitação da solução desenvolvida, e consequentemente da tecnologia adoptada, dificilmente faria sentido realizar esforços adicionais de aperfeiçoamento. A usabilidade é o factor mais difícil de controlar à priori, uma vez que só mediante a experiência de formação concreta com o grupo alvo é possível obter respostas e concluir orientações.

Estes factores influenciaram a forma como a visualização e interacção com o painel de montagem no Ambiente

Virtual foi feita. A escolha reverteu sobre o uso de capacetes de Realidade Virtual (HMD da expressão inglesa Head-Mounted Displays) em detrimento de uma projecção plana sobre um grande ecrã. Esta decisão teve em linha de conta as seguintes considerações:

- necessidade que o operário experimente um efeito de imersão completa no ambiente de treino Virtual, no menor período de tempo, por forma a se atingir rapidamente o máximo nível de concentração nas tarefas de treino em detrimento dos problemas de desajustamento provenientes de uma incompleta abstracção do mundo real;
- formando deve-se concentrar unicamente nas tarefas a serem desempenhadas e não na tecnologia;
- formando deve ter uma boa visibilidade quer sobre o painel quer sobre o estendal onde se encontram as

peças e os cabos que lhe permitirão montar a cablagem;

- formando deve realizar, no ambiente virtual, o treino das várias acções recorrendo aos gestos e movimentos corporais de forma muito similar aos reais que irá efectuar na linha de montagem, sendo que estes gestos e movimentos também são parte integrante da aprendizagem;
- espaço necessário na solução usando HMD é bastante mais reduzido;

Neste contexto é ainda digno de registo que o sistema foi desenvolvido com uma única luva como interface de interacção, que só pode ser utilizado por destros ou ambidestros.

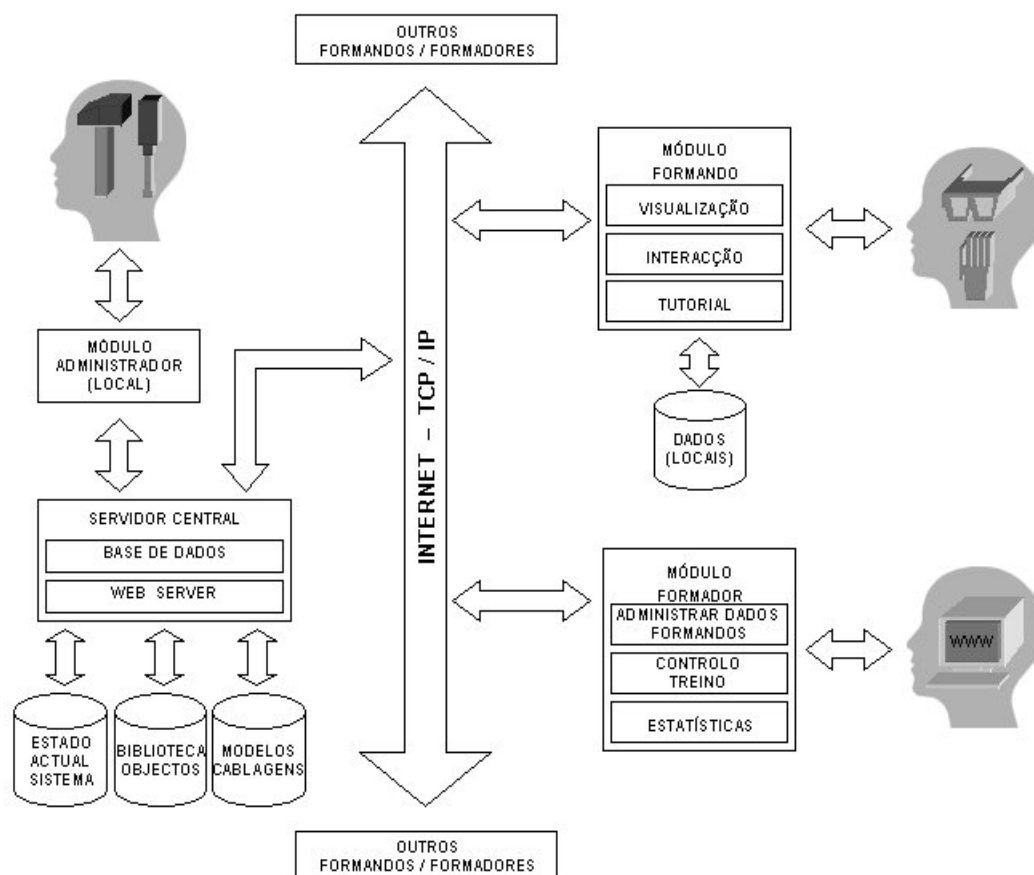


Fig. 2 Arquitectura

Por análise dos vários objectivos a atingir no processo de treino, ficou claro e aceite na generalidade, que o objectivo central é treinar os formandos na memorização da sequência correcta de montagem, os respectivos gestos e movimentos corporais, no reconhecimento de objectos (peças, contra-peças, etc.) assim como na habituação à nova configuração de montagem. O paradigma de interacção a adoptar tem assim forçosamente que facilitar esta memorização, já que a forma como a sequência correcta deve ser feita não é considerada fundamental,

mas sim a sequência em si. Para o formando ter uma completa noção da forma como as operações deveriam ser efectuadas, seria de todo conveniente utilizar duas luvas. Devido a restrições orçamentais, a hipótese de utilizar duas luvas foi posta de parte.

No que diz respeito aos interfaces gráficos igual cuidado foi tido em relação aos factores humanos, quer por um lado, para os formadores disporem de uma ferramenta de fácil utilização que lhes permitisse elaborar e conduzir a sua formação, quer por outro lado, a interface do

formando que é constituída pelo AV e pela maneira com que o formando interage com esse AV.

3.2 Arquitectura

A especificação do projecto adopta uma arquitectura conceptual, cuja esquematização pode ser encontrada na fig. 2 usando a configuração de servidor-cliente. O servidor é o cérebro de todo o sistema, fornecendo os serviços requisitados pelos restantes módulos. Engloba a base de dados que contém os modelos dos objectos usados, a configuração das cablagens e ainda o estado actual do sistema para cada um dos treinos a decorrer. O servidor é o responsável por manter a consistência do sistema, acoplando ainda um servidor web (servidor de páginas na World Wide Web) responsável pela conexão via TCP/IP com os módulos formador e formando.

3.2.1 Módulos cliente

Existem três módulos cliente para os utilizadores tipo do sistema: administrador, formador e formando.

O **módulo administrador** é local relativamente ao servidor e disponibiliza as ferramentas necessárias para a concepção e configuração das cablagens a serem usadas nas acções de formação. O acesso a este módulo é restrito a quadros especializados da empresa na área de prototipagem e reestruturação de cablagens.

O **módulo formador** fornece os meios para controlo do processo de treino. Permite a administração de dados de formandos, monitorização do treino em tempo real e obtenção de estatísticas. Uma grande vantagem neste módulo é a flexibilidade de acessibilidade e visualização de dados por parte dos formadores, tornada possível pela utilização de um browser web como interface com o utilizador.

O **módulo formando** é constituído por três componentes fundamentais: o motor gráfico, responsável pela geração e projecção das imagens; o controlo dos dispositivos de interacção; e o tutorial. Devido à quantidade de dados que o AV necessita, é mantida uma base de dados local que, no arranque do sistema, recebe os dados do servidor. Durante o processo de treino, os dados obtidos são introduzidos e actualizados na base de dados local que se encontra sincronizada com a base de dados central do servidor. Este módulo é activado remotamente pelo formador através da utilização de CGI's.

O sistema permite replicar os módulos formador e formando, oferecendo a possibilidade de se encontrarem no mesmo momento vários utilizadores em diversas acções de formação.

3.2.2 Componentes do sistema de realidade virtual

O sistema é composto por elementos que permitem a visualização, interacção e a gestão de todos os eventos que ocorrem durante a execução da aplicação.

Os componentes físicos do sistema são:

- Estação gráfica *SGI* (custo aproximado 60.000 €);
- Capacete de realidade virtual (Head-Mounted Display): *Kaiser Electropics XL50* (custo

aproximado 17.500 €), *Virtual Research V8* (custo aproximado 12.000 €);

- Dispositivo de interacção: *Virtual Technologies CyberGlove* (custo aproximado 13.000 €);
- Sistema de localização: *Ascension Tech Flock of Birds* (custo aproximado 7.000 €);

O software utilizado para gerar o interface do formando é uma plataforma para criação de sistemas de realidade virtual denominada *VirtualDesign2*. Para criar o interface com o formador recorreu-se a uma aplicação em ambiente web. São utilizadas para o efeito páginas dinâmicas em *PHP* suportadas por um servidor *Apache* e um servidor de base de dados *MySql*.

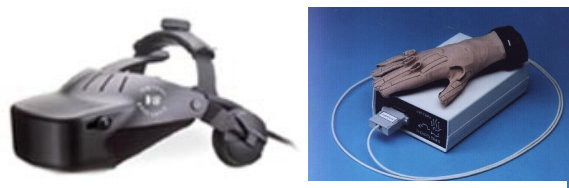


Fig. 3- Dispositivos de interacção

3.3 Modelos Geométricos e Configuração do Sistema

Um dos objectivos deste projecto foi reproduzir virtualmente, à escala real, o posto de trabalho de um operador para efeitos de treino e formação de operadores.

Um posto real é constituído por um painel onde o operador realiza uma determinada sequência de operações. Existe um estendal de aprovisionamento na retaguarda que contém um conjunto de fios, peças e outros objectos que serão colocados no painel.

O ambiente virtual do posto de trabalho consiste num ambiente imersivo que utiliza uma luva associada a um sistema de localização de posição para interacção com o AV. Este representa um posto de trabalho onde, mediante uma selecção prévia do formador, o formando é confrontado com as diferentes disposições de objectos que poderá encontrar no seu posto de trabalho real. Nessa situação deverá realizar as várias tarefas da sequência em questão com o auxílio dos dispositivos de interacção.

3.3.1 Modelação geométrica

No sistema fabril, o painel é um suporte físico concebido para a construção de uma dada cablagem eléctrica, onde se encontram acoplados objectos denominados contra-peças que irão servir de base para o encaixe da ou das peças correspondentes. Além destes, existem outros objectos acoplados ao painel, denominados forquetas, que servem de suporte aos fios condutores que ligam as várias peças da cablagem eléctrica.

A reprodução virtual do painel é feita respeitando as suas dimensões reais. As peças, contra-peças, forquetas e leds são modelados com detalhe à escala real, uma vez que um

dos requisitos da formação virtual é identificar correctamente o posto de trabalho.

A cablagem exemplo que está a ser utilizada contém cerca de 100 peças e 28 contra-peças. A maioria dos objectos apresentam uma geometria (irregular) construída a partir de polígonos quadrangulares que, após serem triangularizados, duplicam o seu número. Em média cada objecto é constituído por cerca de 850 triângulos, com excepção de alguns maiores que têm sensivelmente 4900 triângulos. O elevado número de polígonos gera um sistema potencialmente complexo que influencia o número de imagens geradas por segundo e exige maior utilização de recursos por parte do sistema. Para acelerar o processo de geração de imagens e obter *frame rates* entre 15 a 20 fps foi necessário proceder à diminuição do número de polígonos a visualizar.

Os testes conduzidos permitiram concluir que uma optimização da geometria é suficiente para obter a performance requerida. Foi possível observar que tanto a nível de interacção como de visualização foram obtidos bons resultados em termos de número de imagens geradas por segundo.

Os objectos que simulam os fios eléctricos não carecem de ser modelados uma vez que são gerados de forma dinâmica em tempo real aquando da sua colocação no painel.

Devido à constante alteração das linhas de montagem existentes e à introdução de novas linhas de montagem em empresas de construção de cablagens eléctricas, surgiu a necessidade de criar uma biblioteca capaz de armazenar as representações dos objectos utilizados. Como vantagem pode ser referida a possibilidade de reutilização de peças nos casos em que o novo painel contem peças idênticas, evitando o esforço de realizar uma nova série de modelos geométricos. Ao evitar este esforço, deixa de ser necessário contratar mão de obra especializada capaz de modelar os objectos e integrá-los na aplicação e investir em software específico, o que se traduz em redução de custos de manutenção da aplicação de tempo despendido.

3.3.2 Configuração do sistema

Em cada linha de montagem existe um determinado número de postos de trabalho cuja sequência de operações é diferente de posto para posto, embora sejam usadas peças em comum.

De forma a facilitar a definição destas sequências de operações, o módulo do administrador oferece funcionalidades de configuração do sistema, através do recurso a um editor de configurações. Desta forma permite-se a configuração por engenheiros da produção sem necessidade de possuírem conhecimentos informáticos aprofundados. Tarefas como a alteração da localização de uma peça no painel de montagem resumem-se a alterar as coordenadas numéricas da mesma.

4. DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES

O desenvolvimento das interfaces do sistema de realidade virtual mereceu uma atenção redobrada. Para tal foram realizados estudos específicos sobre metáforas de interacção existentes para conceber o interface para o formando. Constatou-se que apesar dos diversos trabalhos de investigação realizados nesse domínio, os resultados ficam aquém das expectativas. Para além disso, foram levadas a cabo pesquisas sobre ambientes colaborativos distribuídos geograficamente para conceber o interface com o formador [Korves 1998].

Deste modo, o controlo da formação está dividido em dois tipos de interfaces dirigidos aos dois principais intervenientes. O interface para o formador é essencialmente bidimensional, constituído por janelas, um paradigma de interacção já bem conhecido. O interface para o formando é imersivo, menos conhecido pelo utilizador comum, podendo vir a ser a forma de interacção mais transparente e sobretudo mais intuitiva com um AV.

4.1 Interface com o Formador

Para dar resposta às necessidades identificadas, foi desenvolvida uma interface que permite ao formador realizar o seu treino com um determinado formando, mesmo que os dois se encontram em locais geograficamente distintos.

Deste modo, o interface com o formador serve para controlo do treino, actualização da base de dados com informação sobre os formandos, resultados e desempenho na realização dos treinos. Permite ainda pesquisas, estatísticas e análises sobre dados já recolhidos.

O interface com o formador é constituído por várias janelas que permitem inserir ou eliminar formandos da base de dados, fazer uma análise dos treinos já efectuados e compará-los a outros. É também possível obter estatísticas conjuntas de todos os formandos e chegar a conclusões sobre dificuldades em efectuar uma determinada operação.

O formador, sem sair do mesmo interface, pode controlar e monitorizar o treino virtual. O controlo contempla as seguintes operações: iniciar, interromper, terminar a simulação, especificar o exercício e o seu grau de dificuldade e permitir o uso do tutorial. A monitorização consiste na visualização dos tempos e da performance do formando numa determinada altura, bem como uma representação da disposição dos objectos no painel durante o treino. O formador terá ainda à sua disposição funções de ajuda ao formando, sob a forma de activação do tutorial.

Para alguém que nunca tenha experimentado um Sistema de Realidade Virtual (SRV), o tempo que um operador demora a concluir uma determinada tarefa não corresponde directamente ao tempo que demoraria numa situação real. Enquanto que um operador experiente, em ambiente fabril, demora por volta de 2 a 3 minutos aproximadamente a realizar uma tarefa, no AV ele

demora entre 5 a 10min, dependendo do tempo de habituação ao sistema.

No entanto, o tempo relativo entre as diferentes performances desempenhadas pelos diferentes operadores pode ser interessante como forma de apoio ao formador na avaliação de aptidões.

O interface com o formador permite controlar e receber os dados resultantes da formação. Este foi desenvolvido com tecnologias Web com o recurso a HTML, CGI's e linguagens de script que permitem construir e aceder à base de dados, por forma a assegurar a portabilidade da interface. As principais vantagens que a plataforma para a interface apresenta são:

- formador só necessita, como software, de um browser HTML, que pode ser utilizado em qualquer sistema operativo;
- formador pode estar em qualquer lugar com acesso à Internet, constituindo assim uma forma de ensino e treino à distância;
- facilidade e flexibilidade na alteração do design do interface com o formador;
- a criação e manutenção do software de acesso à base de dados fica mais transparente, modular e extensível.

4.2 Interface com o Formando

O formando é imerso num Ambiente Virtual (AV) de treino que simula o posto de trabalho com realismo. Esta imersão é conseguida através de uma construção virtual de um painel e de todos os objectos perfeitamente reconhecíveis (peças, contra peças, bases, forquetas...). Para tal foi necessário utilizar uma estação gráfica suficientemente poderosa que assegurasse um número suficiente de imagens por segundo e um conjunto de metáforas de interacção intuitivas e representativas da realidade.

Um aspecto importante na concepção do interface com o formando foi o sistema de visualização. Factores como, a qualidade de imagem, a facilidade de deslocação do utilizador no AV, a imersão total do utilizador e a facilidade de interacção com a luva virtual foram decisivos na escolha do mesmo.



Fig. 4 Ambiente de treino virtual

A solução final recorreu ao uso de um capacete de realidade virtual (HMD). As vantagens associadas a este tipo de dispositivos de visualização são:

- imersão total no mundo virtual
- presença virtual
- visualização panorâmica
- mobilidade no espaço

A utilização da CyberGlove (luva de interacção) como dispositivo de interacção não revelou dificuldades de maior. A luva permitiu a manipulação de objectos e a comunicação com o SRV através de gestos.

4.3 Metáforas de Interacção

O estudo de metáforas utilizadas baseou-se na pesquisa das já existentes e devidamente documentadas em artigos da área [Poupyrev 1997]. Com base nos resultados obtidos da investigação foram criadas as metáforas para o sistema de realidade virtual. A preocupação central na concepção das mesmas foi encontrar a melhor forma de representar as acções reais no sistema de realidade virtual através de gestos simples e intuitivos, uma vez que o público alvo da ferramenta eram operadores sem experiência em informática.

Um factor importante na escolha das metáforas foi a restrição ao uso de uma mão (devido ao uso de uma só luva), por terem que se representar acções que no ambiente de trabalho real requerem o uso de ambas as mãos.

Dos vários desafios a representar, um dos mais interessantes foi a representação de fios. Devido às suas reduzidas dimensões, e de modo a permitir a sua manipulação, os fios foram representados simbolicamente por um objecto. Utilizou-se uma esfera para representar o fio, e verificou-se que os utilizadores conseguiam seleccionar o fio e manipulá-lo com relativa facilidade. Esta esfera representa o conceito de *novelo* de fio que o utilizador vai distribuindo pelo painel.

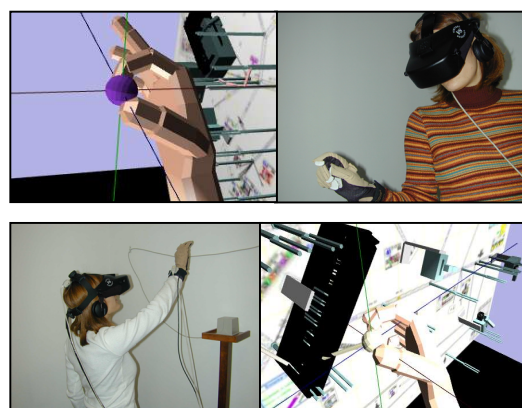


Fig. 5 - Aprovisionamento e colocação do fio

No entanto houve desafios/acções que não foram possíveis de representar devido ao actual estado de evolução das tecnologias, nomeadamente o cálculo do

posicionamento de movimentos circulares, não regulares e rápidos, como acontece no enfitamento de cablagens, ou a modelação de acções de montagem rigorosa ao nível de movimentos milimétricos.

5. TESTE E VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Foi elaborado um questionário para avaliar o grau de imersão e de interactividade proporcionado pelo sistema de treino. As questões foram directamente colocadas aos utilizadores, e permitiram avaliar sobretudo as sensações subjectivas, isto é, as respostas descreveram como cada utilizador se sentiu e teve percepção dos dispositivos de Realidade Virtual e do próprio Ambiente Virtual.

O questionário teve como objectivo observar o conforto e a aceitação dos dispositivos, o grau de envolvimento e imersão no Ambiente Virtual, assim como a viabilidade de um Ambiente Virtual deste género como forma de treino e aprendizagem.

Paralelamente ao questionário, foram avaliados de uma forma mais objectiva, os resultados destas diferentes sessões de treino em termos de medição de tempos. O questionário foi constituído por três partes que foram respondidas em fases distintas: antes da sessão de treino, depois da sessão de treino, e um questionário especificamente para pessoas que têm ou já tiveram contacto com a linha de montagem de cablagens eléctricas. As três partes em que o questionário se dividiu são as seguintes:

- qual o estado do sujeito antes da experiência;
- qual o estado do sujeito após a experiência, como considerou ele o seu desempenho e qual o grau de imersão sentido;
- finalmente, algumas questões que seriam respondidas unicamente por indivíduos experientes nas linhas de montagem e que visava saber qual o nível de transferência de conhecimento que eles sentiram poder obter.

Os utilizadores foram inseridos num Ambiente Virtual sempre muito semelhante e com objectivos de desempenho também eles muito idênticos, de maneira a se poder utilizar os resultados do questionário com bastante confiança e se poderem tecer algumas conclusões sobre as sensações de um utilizador em ambientes deste género.

Foram também analisados os resultados provenientes directamente do sistema, divididos entre pessoas que já tinham tido formação real como grupo de controlo e pessoas que tiveram o primeiro contacto com o painel de montagem através do Sistema de Realidade Virtual. Assim, desta maneira foi possível ter dados concretos relativamente a transferência de conhecimento que o Sistema era capaz de promover.

O posto de trabalho da experiência de teste, foi modelado com base em postos reais actualmente existentes nas linhas de montagem.

5.1 Análise dos Resultados

A validação da aplicação de Realidade Virtual foi realizada em conjunto com os parceiros industriais. Eles disponibilizaram vários operadores para testarem a aplicação, que foram seleccionados segundo a maior ou menor experiência em linhas de montagens.

No âmbito da validação e teste foram registados diversos indicadores, desde a performance do utilizador, o tempo médio despendido a efectuar as operações, o feedback verbal de cada utilizador, ou até o tipo de gestos e movimentos realizados.

Associado a este registo empírico foi utilizado o questionário anteriormente referido, para registar numa perspectiva mais técnica o impacto que esta nova tecnologia teve sobre cada utilizador.

Os resultados obtidos foram analisados segundo três dimensões distintas para classificar o sistema sob um ponto de vista tecnológico, técnicas de interacção e o processo de ensino. Do tratamento efectuado ao questionário obtiveram-se as seguintes conclusões:

Imersão:

1. Bom nível de realismo da cena
2. Muito bom nível de imersão
3. Bom nível de ausência de náuseas e desorientação
4. Nível satisfatório no uso do capacete
5. O único factor de distracção foi o HMD, pois foi considerado incómodo devido ao seu peso. Normalmente, após um treino de 30 min, o utilizador apresentava algum cansaço, apontando o HMD como o responsável desse desconforto.

Os resultados obtidos podem ser considerados bastante positivos, uma vez que os objectivos que se pretendiam alcançar, nomeadamente a imersão completa e o realismo do mundo virtual em que eles foram inseridos, foram atingidos e a aceitabilidade da tecnologia por parte do utilizadores foi muito satisfatória.

No entanto alguns utilizadores sentiram algum mal estar no final da experiência. Este dado, apoiado por estudos na área, [Pierce 1997] indica que os indivíduos já com pré-disposição para enjoar em situações normais tais como viagens de carro, avião e principalmente de barco, podem sentir algum mal estar perfeitamente normal, mas não impeditivo no uso destas tecnologias.

Interacção:

1. A liberdade de controlo da interacção foi satisfatória
2. Muito Bom nível de envolvimento
3. Bom Grau de satisfação no uso da luva
4. Nível satisfatório na noção de sobreposição entre a mão real e virtual .

O uso da luva como dispositivo de interacção não introduziu obstrução na forma de interagir com o sistema uma vez que os utilizadores a encararam como a forma

mais natural de interacção com o painel na resolução dos postos de trabalho virtuais.

Treino:

1. No geral, foi verificado um bom desempenho na realização das tarefas
2. Identificação muito fácil das peças
3. Identificação muito fácil do painel
4. Apenas metade dos inquiridos sentiram mais facilidade no Ambiente Virtual do que no real
5. Nível de imersão na linha de montagem foi considerado satisfatório.

Como seria de esperar, o ambiente virtual não substitui totalmente a realidade mas consegue-se atingir níveis de abstracção tais que permitem a concentração exclusiva no exercício.

Análise global:

- A sensação de imersão sentida foi quase completa;
- Houve facilidade de identificação do painel e das peças virtuais que compõem o painel;
- O nível de desempenho sentido foi bastante satisfatório;
- A manipulação dos objectos foi sentida como muito realística;
- Bom grau de envolvimento uma vez que os utilizadores se preocuparam unicamente com a resolução dos exercícios sem terem que pensar como efectuar a manipulação;
- Correspondência da mão virtual com a mão real aceitável embora não haja uma sobreposição completa. Os utilizadores conseguiram controlar com facilidade a mão virtual;
- Os gestos de interacção foram classificados pelos utilizadores como fáceis de memorizar mesmo não sendo uma representação fiel dos gestos que eles realizam no posto de trabalho real;
- A luva virtual como dispositivo de interacção foi bem aceite pelos utilizadores do sistema e considerada confortável e de fácil utilização;

No final das sessões de treino com o sistema de Realidade Virtual estimou-se que cada utilizador precisou entre:

- 5 min a 15 min para a habituação inicial aos dispositivos do sistema (luva e capacete) ;
- 1 a 8 horas para memorização do posto de trabalho, dependente da complexidade do posto e da capacidade de aprendizagem do operador;
- 15 a 25 minutos para executar um posto de trabalho completo, havendo uma redução gradual de tempos que estabilizavam após haver uma memorização da sequência de operações.

A comunicação constante entre os programadores e os vários utilizadores do sistema trouxe melhoramentos à

aplicação, quer na detecção de erros subjacentes ao sistema, quer na correcção da disposição dos objectos no painel.

5.2 Formação com treino em AV vs. formação convencional

A formação com treino em AV por si só não é suficiente para suprimir o arranque lento de produção de cablagens, cada vez que se inicia uma nova linha de montagem. Dependendo do grau de complexidade da cablagem a produzir, por vezes a produção nos primeiros dias é quase nula. No entanto, usando o AV de treino como um complemento na formação teórica, pode em certa medida, diminuir o referido atraso na produção.

Assumindo que cada operário tem 15 dias de formação por ano (valor médio), um ganho de 20%, obtido pelo uso do sistema de treino virtual, resultaria em 3 dias ganhos. Num cenário de 900 operários em formação por ano e um ganho de 25 € por dia, haveria um ganho de 25 € x 3 dias x 900 operários = 67.500 € por ano. Os dados anteriores foram fornecidos pelo parceiro industrial.

6. CONCLUSÕES

Apesar da juventude das tecnologias de Realidade Virtual com aplicações industriais, pode-se concluir que os resultados obtidos excederam as expectativas quer em termos sociais (aceitação, conforto e motivação) quer em termos industriais (a aprendizagem efectuada e redução de custos). Foi possível observar na prática que grande parte dos objectivos propostos no início do projecto foram implementados e testados com sucesso.

Com este projecto é possível ensinar de uma forma exacta sequências de montagem de cablagens eléctricas, através de interfaces para os formandos e para os formadores, fáceis de utilizar mesmo sem qualquer conhecimento prévio de informática.

O formador tem acesso a uma ferramenta que além de ser um suporte de ensino e treino, é também uma ferramenta de apoio na avaliação das competências e apetências dos operadores da linha de montagem.

O projecto permitiu ainda, não ultrapassando os custos estabelecidos em termos de equipamento e utilizando hardware de Realidade Virtual que já começa a ser standard, conceber uma aplicação que tem sérias aplicações reais realizando assim algumas promessas que esta tecnologia tem tido como expectativas.

Como nem sempre tudo só tem aspectos positivos, houve pontos que por motivos simplesmente tecnológicos actuais ainda não teve resultados tão satisfatórios. As pessoas que efectuaram o treino tiveram algum desconforto na utilização dos capacetes de Realidade Virtual e a falta de sensação táctil e de force-feedback também não permitiu uma imersão e envolvimento mais completo. A existência de uma segunda luva permitiria ter uma interacção mais natural. Ainda a nível do hardware utilizado, as luvas requerem um cuidado particular e devido à sua sensibilidade requerem uma

calibração constante e diferente para cada utilizador [Pierce1997] [Fuhrmann. 2000].

A experiência adquirida ao longo deste trabalho permite concluir que a utilização das tecnologias de realidade virtual como suporte ao ensino e treino constitui uma área pouco explorada pela indústria, mas com muito potencial para otimizar os processos de produção das mesmas.

Dentro desta área de conhecimento de ensino e treino, diferentes trabalhos de investigação podem ser realizados, nomeadamente em sub-áreas mais específicas como sejam a montagem e desmontagem de produtos, ergonomia, e prototipagem virtual.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao PEDIP II pela possibilidade financeira em apoiar projectos nesta área emergente e ao Centro de Computação Gráfica que através de Bolsas de Investigação e Desenvolvimento permitiu, em parte, a realização deste projecto.

8. REFERÊNCIAS

- [Cruz-Neira 1993] Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A.; *Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE*; Proceedings of ACM SIGGRAPH'93; USA, 1993.
- [Foley. 1997] James Foley, Andries van Dam, Steven Feiner and John Hughes, *Computer Graphics – Principles and Practice*, 2nd edition, Addison Wesley, 1997
- [Fuhrmann. 2000] Fuhrmann, A., Schmalstieg, D., Purgathofer, W.; *Practical Calibration Procedures for Augmented Reality*; Eurographics Virtual Environments 2000; Amsterdam; June 2000.
- [Grave 2000] Luís Grave, António F. Silva, Cristina Escaleira, Cistina Silva e Adérito Marcos, *Trabalho Cooperativo em Ambientes Virtuais de Treino de Montagem de Cablagens Eléctricas*, COOPMedia'2000 - 1º Workshop de Sistemas Multimédia Cooperativos e Distribuídos, Auditório da Comissão de Coordenação da Região Centro, Coimbra, 2000
- [Hoxie 1998] Hoxie, S., Irizarry, G., Lubetsky, B., Wetzel, D; *Developments in Standards for Networked Virtual Reality*; IEEE Computer Graphics and Applications, March/April 1998.
- [Kalawsky 1993] Roy S. Kalawsky, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley, 1993
- [Kenny 1994] Patrick J. Kenny and Tim Saito, *Results of a Survey on the Use of Virtual Environment Technology in Training NASA Flight Controllers for the Hubble Space Telescope Servicing Mission*, NASA, EUA, 1994
- [Korves 1998] Korves, B., Loftus; *The Application of Immersive Virtual Reality for Layout Planning of Manufacturing Cells*; Advances in Manufacturing Technology XII, Volume 12; RW Baines, Ed. UK, Professional Engineering Pub. Ltd., 1998; 303-308.
- [Mine 1997] Mine, M. R., Brooks Jr., F. P., Sequin, C. H.; *Moving Objects in Space: Exploiting Proprioception in Virtual-Environment Interaction*; Proceedings of SIGGRAPH'97; Los Angeles; 1997.
- [Pierce1997] Jeffrey S. Pierce, Randy Pausch, Christopher B. Sturgill and Kevin D. Christiansen, *Designing a Successful HMD-Based Experience*, Presence Vol. 8 Nº4, MIT Press, EUA, 1997
- [Poupyrev 1997] Poupyrev, I., Weghorst, S., Billinghurst, M., Ichikawa, T. *A Framework and Testbed for Studying Manipulation Techniques for Immersive VR*; Proceedings of ACM VRST'97; Lausanne; 1997.
- [Pspotka 1995] Pspotka J.; *Immersive Tutoring Systems: Virtual Reality and Education and Training*, U.S. Army Research Institute technical report, Instructional Science; 1995.
- [Sá 1999] Sá, G. A., Zachmann, G.; *Virtual Reality as a Tool for Verification of Assembly and Maintenance Processes*; Computer & Graphics, Volume 23, N.º 3; (December 1999), 389-403.