

Laboratório VISGRAF

Instituto de Matemática Pura e Aplicada

**Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais Utilizando
Dispositivos Reativos e Transformadas de Distncia**

*Marcelo Medeiros Carneiro
Luiz Velho*

Technical Report TR-2003-05 Relatório Técnico

December - 2003 - Dezembro

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade dos autores.

Interfaces Assistidas para Deficientes Visuais Utilizando Dispositivos Reativos e Transformadas de Distância

MARCELO MEDEIROS CARNEIRO ¹
LUIZ VELHO ²

¹ UERJ-Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier 524/5033E, CEP 20550-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil
mmc@uerj.br

² IMPA-Instituto de Matemática Pura e Aplicada
Estrada Dona Castorina 110, CEP 22460-320, Rio de Janeiro RJ, Brasil
lvelho@visgrafimpa.br

ABSTRACT. The natural evolution of user interface models that occurred in the last few decades ended up popularizing a standard model based almost exclusively on visual metaphors. This process has left visually impaired users unable to use computers and to access new technologies. Some actions have been made to revert this scenario. Most of them were based on adapting the existing models instead of creating specific solutions for the visually impaired community. The development of applications for such users requires the use of new technologies, tools and communication media.

This work proposes the use of force feedback devices in the project and implementation of assistive user interfaces, helping blind users in simple 2D interaction tasks. By exploring the sense of touch, such devices can be used to improve the efficiency of the communication between the user and the interface. Also, this work investigates the use of distance transforms as a powerful mechanism to support many 2D interaction tasks.

Keywords. Assistive Technology, Haptic Devices, Non visual tools, User Interfaces for the Blind, Distance Transforms.

INTRODUÇÃO

Com a indiscutível informatização da sociedade, é inegável que o computador seja uma ferramenta de trabalho essencial nos dias de hoje. Antes do surgimento de interfaces gráficas com o usuário (GUI's), ocorrido nas décadas de 80 e 90, e a popularização do sistema operacional Windows, as aplicações e o próprio sistema operacional da época (DOS) eram baseados em interfaces puramente textuais. Tais interfaces não representavam grandes barreiras para os deficientes visuais (NCD, 1996). Entretanto, desde o advento de interfaces gráficas, as aplicações vêm se tornando cada vez mais gráficas e interativas (Myers & Rosson, 1992)

Baseadas quase que exclusivamente em metáforas visuais e manipulação direta de objetos gráficos, tais interfaces colocaram esta comunidade à margem de todo o processo de evolução da computação (Jacko & Sears, 1998). Com a migração, na década de 90, do sistema DOS para o Windows nos escritórios e empresas, muitos deficientes foram demitidos e perderam espaço no mercado de trabalho (NCD, 1996). Infelizmente, o surgimento e a consolidação das interfaces gráficas trouxeram dificuldades quase

intransponíveis para a comunidade de deficientes visuais, ocasionando assim uma grande crise no meio (Boyd et al., 1990). Portanto, é de extrema relevância investir em esforços que garantam aos deficientes visuais acesso à informática de forma mais igualitária possível.

Interface e Estilos de Interação

Segundo Moran (1981), “a interface de usuário deve ser entendida como sendo uma parte do sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato física, perceptiva e conceitualmente”. Em computação, este termo usualmente designa os componentes de *hardware* e *software* que permitem ao usuário interagir com o sistema computacional.

Estilo de interação é um termo genérico que inclui todas as formas utilizadas por usuários para comunicar ou interagir com sistemas computacionais (Preece et al., 1998). Os estilos mais comumente encontrados em interfaces são: Linguagem de Comando, Menus, Preenchimento de Formulários, Linguagem Natural e Manipulação Direta (Preece et al., 1998; Shneiderman, 1992). Interfaces baseadas em manipulação direta (Shneiderman, 1983) são caracterizadas por suportarem ações dos usuários (tais como mover, selecionar,

arrastar etc.) sobre representações visuais de objetos de interface (por exemplo, ícones), através de um dispositivo de entrada, tipicamente o *mouse*.

Além dos estilos bem definidos citados anteriormente, pode-se citar também o estilo WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointers*). Este termo é comumente associado a interfaces gráficas com o usuário (GUI's). Tais interfaces utilizam representações visuais de janelas e *widgets* de interação, tais como botões e ícones. Os usuários executam ações sobre essas representações através de dispositivos de entrada. O WIMP não é um estilo único de interação, pois emprega diversos estilos básicos citados anteriormente, em especial menus, manipulação direta, preenchimento de formulários e linguagem de comando.

Nas interfaces baseadas no estilo WIMP, os usuários novatos aprendem mais rapidamente a utilizá-las e os usuários eventuais conseguem reter o que aprenderam com mais facilidade. Entretanto, também há vários problemas, especialmente relacionados com a acessibilidade para deficientes visuais.

O Deficiente Visual e a Interface

Infelizmente, os avanços obtidos com a consolidação do estilo WIMP não contemplaram a comunidade de deficientes visuais (Sjöstrom, 2002). Não havia uma preocupação com eles, as aplicações eram desenvolvidas especificamente para os videntes (Kamel & Landay, 2000).

Buscando contornar este problema de acessibilidade, muitos pesquisadores investiram em soluções predominantemente baseadas em síntese de voz e outros *feedbacks* sonoros (Dosvox, 1998; James, 1998; Kamel et al., 2001; Kennel, 1996; Mynatt, 1997; Mynatt & Edwards, 1992; Nomad, 2001; Pitt & Edwards, 1996; Raman, 1996; Savidis, 1996; Vanderheiden, 1996; Zajicek et al., 2000). Esta tecnologia era muito eficiente antes do surgimento de interfaces gráficas, devido à relativa facilidade de se traduzir uma interface textual (e tipicamente seqüencial) em voz. Esta tradução, entretanto, não é trivial em um contexto contendo elementos gráficos (Christian, 2000).

Interfaces baseadas em voz também não são adequadas em tarefas onde há necessidade de localização espacial de objetos (Kamel & Landay, 2000), embora existam trabalhos que investigam mecanismos de mapeamento de estruturas espaciais de objetos gráficos e *widgets* de interface em *feedbacks* sonoros não-verbais (Kamel et al, 2001; Mynatt, 1997; Mynatt & Edwards, 1992).

Uma possível alternativa para contornar este grave problema é a utilização de outras tecnologias. Em

especial, tecnologias hápticas, por serem particularmente úteis para o deficiente visual. Entretanto, até o presente momento, não existe muita pesquisa nesta área para o caso específico do portador de deficiência visual (McLaughlin et al., 2002).

Além disso, os trabalhos existentes, em sua maioria, contemplam principalmente usuários de visão subnormal, atendendo de forma insatisfatória os cegos totais (Fraser & Gutwin, 2000; Jacko, 1998; Jacko et al., 2000; Zajicek et al., 1999; Zajicek, 2000; Zajicek et al., 2000).

Alguns trabalhos até oferecem outras formas de *feedback* como, por exemplo o tato, porém com a função de complementação do *feedback* visual (Rorh et al., 2000). A maioria se baseia em uma interface multimodal (háptica e visual) e geralmente valorizam demasiadamente o *feedback* visual, deixando em segundo plano o *feedback* háptico (McLaughlin et al., 2002). Neste caso, é praticamente impossível um indivíduo completamente cego utilizar tais interfaces.

Existe, então, uma grande carência de ferramentas projetadas especificamente para os cegos totais, baseadas principalmente na percepção háptica do usuário que, juntamente com a audição, é um dos sentidos mais importantes para o deficiente visual (Yu et al., 2000).

CONCEITOS BÁSICOS

Um indivíduo é considerado deficiente visual quando, mesmo com correções óticas (óculos e lentes de contato) ou cirúrgicas, há um severo comprometimento de sua acuidade visual, isto é, capacidade de perceber detalhes de uma imagem, ou comprometimento de seu campo visual, isto é, capacidade de enxergar em várias direções (Lázaro, 2002). O grau de deficiência visual pode variar desde cegueira total (ou cegueira funcional), onde o indivíduo não possui nenhuma sensibilidade luminosa, cegueira parcial (ou cegueira legal ou profissional) e visão subnormal, onde o indivíduo possui razoável resíduo visual (Congresso Brasileiro de Prevenção da Cegueira, 1980).

Recentemente tem-se notado uma tendência mundial em se desenvolver produtos que possam ser utilizados por uma parcela mais ampla possível da população (Vanderheiden, 2000). Neste trabalho, entretanto, optou-se por focar no estudo de interfaces para usuários cegos totais.

Modelo Mental

Embora não dispondo do canal visual, os deficientes visuais adquirem conhecimento do ambiente à sua volta utilizando outros mecanismos sensoriais,

principalmente através do tato, buscando propriedades que possam ser sentidas: forma, tamanho, textura, posição, disposição espacial etc. Essa exploração, ainda que bastante trabalhosa, ineficiente e demorada (quando comparada com a exploração visual), permite um deficiente visual ter boa compreensão do ambiente (Smith, 2001).

As observações acima levam psicólogos a discutirem a hipótese de indivíduos (videntes ou não) construírem um *modelo mental* do ambiente onde se encontram (Kurze, 1996). Os defensores dessa teoria acreditam que, baseados em suas experiências sensíveis, todos constroem mentalmente uma estrutura espacial de dados acoplada a um conjunto de possíveis ações sobre a mesma.

Preece et al. (1994) afirma que as pessoas constroem modelos mentais do mundo para dar suporte a suas ações executadas externamente. Confirmam também a idéia de que um modelo mental representa, entre outras informações, a disposição relativa de um conjunto de objetos no mundo. Portanto, está relacionado com o conceito de imagem, porém de forma funcionalmente distinta: uma imagem é a representação estática de uma cena, enquanto no modelo mental é dinâmica.

Percepção Háptica

O termo “háptico” está diretamente associado ao sentido do tato. No ser humano, este sentido possui dois componentes independentes: cutâneo e cinético. (Klatzky & Lederman, 2000; Oakley et al., 2000). Este rico conjunto de mecanismos sensoriais permite ao ser humano perceber diversas propriedades de objetos, verificação e monitoramento de atividades em andamento, construção de modelos mentais na ausência de condições de visibilidade etc (MacLean, 2000). Diversos experimentos foram realizados para comprovar a alta capacidade de processamento e as limitações do sistema háptico humano (Klatzky et al., 1985; Klatzky et al., 1993b; Lederman & Campbell, 1982; Reed, 1996).

Procedimentos Exploratórios

Existem padrões bem típicos de movimento de mão e dedos que as pessoas intuitivamente utilizam para perceber as mais diversas propriedades físicas identificadas pelo tato (Lederman & Klatzky, 1987). Tais padrões, denominados procedimento exploratórios, são classificados em: *lateral motion*, *pressure*, *static contact*, *unsupported holding*, *enclosure*, *contour following* (Figura 1).

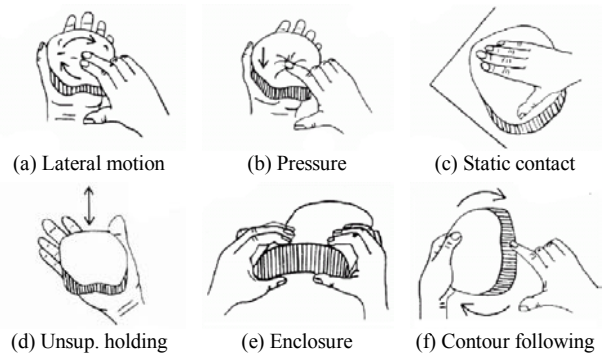


Figura 1: Exploratory Procedures (Lederman & Klatzky, 1987)

Os padrões apresentados acima são utilizados de maneira muito semelhante por pessoas cegas e videntes. A interface assistida para deficientes visuais proposta neste trabalho terá como base o funcionamento dos procedimentos exploratórios apresentados acima, especialmente os procedimentos de percepção de contorno (*contour following*, Figura 1f), textura (*lateral motion*, Figura 1a) e rigidez (*pressure*, Figura 1b).

TECNOLOGIAS HÁPTICAS

Uma parcela significativa de nossa capacidade de estabelecer modelos cognitivos de objetos no mundo real está intrinsecamente relacionada com o sentido do tato (Massie, 1998a). Este é o único dos sentidos que permite *input* e *output* simultâneo, ou seja, a interação é bidirecional. Interfaces convencionais utilizam interação em uma única direção (Figura 2a), porém uma interface reativa, que suporte o sentido do tato, pode tirar muito proveito da bidirecionalidade da interação, aumentando sensivelmente a largura de banda na transferência de informação entre o usuário e a interface (Figura 2b).

Experimentos comprovam que a utilização do tato diminui a taxa de erros na utilização de uma interface (Oakley et al., 2000) e aumenta o desempenho em condições visuais desfavoráveis (Fraser & Gutwin, 2000). Esses resultados demonstram claramente que a utilização de outros canais sensoriais pode aumentar bastante a eficiência de uma interface quando o usuário possui algum tipo de deficiência visual.

Ao contrário dos dispositivos tradicionais de interação tais como mouse, teclado e *joysticks* convencionais, os dispositivos hápticos, são capazes de atuar tanto como dispositivos de entrada, fornecendo a posição espacial do *cursor*, como também de saída, aplicando forças e vibrações sobre alguma parte do corpo do usuário. Esta característica natural de ser bidirecional permite que a interface de uma aplicação seja sentida ao mesmo tempo em que se interage com ela.

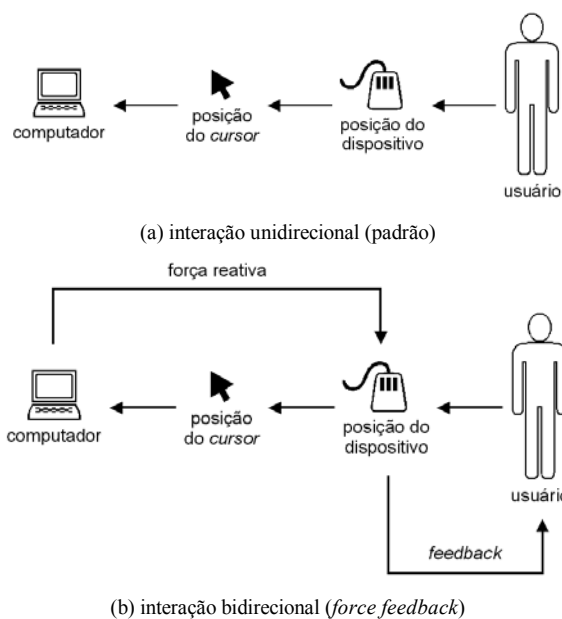


Figura 2: Tipos de Interação (Mensvoort, 2002)

Através de simulações físicas do mundo virtual, a força (ou vibração) pode ser calculada em tempo real e enviada para os atuadores mecânicos do dispositivo (tipicamente motores e vibradores), causando no usuário a sensação de estar manipulando um objeto. Dependendo dos atuadores, os dispositivos hápticos podem ser classificados como reativos ou táteis.

Dispositivos reativos (ou *force feedback*) possuem atuadores mecânicos que aplicam forças em alguma parte do corpo do usuário, especialmente nas mãos ou dedos. Tais dispositivos podem resistir ao movimento provocado pelo usuário, ou seja, permitem controlar a posição *cursor* durante a interação. Além disso, podem simular diversos efeitos e propriedades, tais como, turbulência, impacto, rigidez, viscosidade etc. Estão relacionados principalmente com o componente cinético do tato. Como exemplo de tais dispositivos, pode-se citar *SideWinder Joystick* (SideWinder, 2001), *WingMan Mouse* (Wingman, 1999), *PHANToM* (Massie, 1993), *CyberForce* (CyberForce, 2002), *PenCat/Pro* (Hayward, 2001), *Pantograph* (Ramstein & Hayward, 1994) e *The Moose* (O'Modhrain & Gillespie, 1997).

Por outro lado, os dispositivos táteis (ou *tactile feedback*) possuem atuadores mecânicos que aplicam vibrações em alguma parte do corpo do usuário. São capazes de transmitir sensações táteis, especialmente texturas, mas não inibem o movimento do *cursor*. Estão relacionados apenas com o componente cutâneo do tato. Como exemplo de tais dispositivos, pode-se citar *Tangible Mouse* (TM, 2002), *SmartFinger* (Ando et al., 2002a), *GUIDE* (GUIB, 1998), *displays* de Braille

(NIST, 2002; Ramstein, 1996; RNIB, 2002b; Roberts et al., 2000) e *displays* táteis de imagem (Fricke & Baring, 1992; Kowalik & Postawka, 1994; NIST, 2002b).

Limitações das Tecnologias Hápticas

Existem sérios problemas com representações hápticas bidimensionais de modelos geométricos mais complexos, tais como imagens e mapas espaciais (Lederman & Campbell, 1982; Lederman et al., 1985; Eriksson, 1999). Tais dificuldades devem-se principalmente a limitações tecnológicas das interfaces e dos dispositivos hápticos utilizados.

Tipicamente, dispositivos hápticos modelam o usuário como sendo um ponto infinitesimal no mundo virtual. Ou seja, a sensação tátil é definida em apenas um ponto por vez, enquanto o tato humano processa sensações em múltiplos pontos. Isto limita drasticamente a percepção espacial global de qualquer representação háptica, tendo em vista que a exploração através do tato é seqüencial e extremamente lenta (Lederman & Campbell, 1982). Este quadro é ainda mais agravado quando propriedades perceptuais importantes, tais como forma e textura, são precariamente representadas ou mesmo omitidas devido restrições imposta por uma determinada tecnologia (Klatzky et al., 1985). Dispositivos de Braille, por exemplo, são relativamente eficientes para codificação de texto, porém inadequados para representação de propriedades geométricas e espaciais. Mesmo para texto, a leitura em Braille é cerca de três ou quatro vezes mais lenta quando comparada com o método tradicional para videntes (Ramstein, 1996) e poucos deficientes visuais conhecem e utilizam o método (Yu et al., 2000).

Por outro lado, métodos de representação de contorno em alto relevo confiam quase exclusivamente na percepção proporcionada pelos sensores cutâneos localizados na ponta dos dedos das pessoas. Lederman & Campbell (1982) mostram que a simples tradução da informação visual para a representação correspondente em alto relevo não é suficiente em alguns casos. Nas situações envolvendo objetos simples (linhas, barras, formas geométricas simples) a tradução imediata visual-tátil parece ser apropriada para os deficientes visuais. Entretanto, formas mais complexas (imagens e mapas espaciais) não podem ser traduzidas diretamente utilizando apenas a representação em alto relevo das bordas dos objetos.

Representações de borda fornecem pouca informação aos componentes cutâneo (apenas uma pequena variação de pressão em 2D) e cinético (apenas deslocamentos planares) do tato. Interfaces hápticas bidimensionais transmitem ao usuário apenas uma

versão muito restrita das sensações táteis, tornando a percepção espacial uma tarefa difícil e demorada (Lederman & Klatzky, 1987). Por isso, esta representação isoladamente pode ser ineficiente quando os objetos modelados não são estruturalmente simples (Klatzky et al., 1985).

APLICAÇÕES DE TECNOLOGIAS HÁPTICAS

Pode-se citar diversas aplicações de uso geral de tecnologias hápticas. Em especial, na área de simulação cirúrgica (Machado et al., 2000; Salisbury & Srinivasan, 1997), treinamento médico (Aviles & Ranta, 1999; Brewster, 2001; Reinig et al., 1996; Reinkensmeyer et al., 2000), visualização científica (Branco & Encarnação; 2000; Durbeck et al., 1998) e modelagem geométrica (Avila & Sobierajski, 1996; Sensable, 2002).

No caso particular de aplicações para deficientes visuais, pode-se citar o uso de tecnologias hápticas em programas educativos (Brewster, 2001; McLaughlin et al.; 2001; Willians II & Seaton, 2000) e de entretenimento (Johansson & Linde, 1999; Sjöström & Rassmus-Gröhn, 1999; Sjöström, 2001), sistemas de desenho (Kamel & Landay, 2000; Kurze, 1996), representação de objetos geométricos (Ramloll et al., 2000; Sjöström, 2002); Van Scoy et al., 2000; Yu et al., 2000; Ramloll et al., 2000) e orientação e mobilidade (Kawai & Tomita, 1996; May, 2000; Morris & Joshi, 2002; Ross & Blasch, 2000).

Alguns trabalhos citados anteriormente possuem semelhanças como o que será proposto a seguir. Em especial, o projeto Multivis (Yu et al., 2000; Ramloll et al., 2000) e os testes realizados por Sjöström (2002) com dispositivos reativos (essencialmente o PHANTOM). Entretanto, há grandes diferenças:

- A grande maioria dos trabalhos científicos na área de interfaces hápticas utilizam o PHANTOM como dispositivo para representar propriedades hápticas. Existe muito pouca pesquisa que emprega dispositivos reativos com dois graus de liberdade para aplicação de força;
- Em nenhum trabalho estudado até o momento foi utilizado transformadas de distância para o cálculo de forças reativas. Tipicamente, a força reativa é calculada em função da profundidade atingida pelo *cursor* em um determinado objeto virtual, ou seja, aplicação imediata da *Lei de Hook*.

MODELO DE INTERAÇÃO PROPOSTO

Este trabalho propõe a utilização de tecnologias assistidas não-visuais de *hardware* e *software* baseadas no tato para estabelecer um novo canal de comunicação

entre o deficiente visual e interface computacional. Isto acarreta, portanto, na substituição da visão pelo tato como mecanismo primário de *feedback* em tarefas de interação com o usuário. De uma forma resumida, o que está sendo proposto neste trabalho é:

- Especificação de um modelo de interface de baixo nível capaz de implementar técnicas que estimulem a percepção do maior número de propriedades hápticas possível, de acordo com as limitações das tecnologias utilizadas;
- Verificação das técnicas implementadas quanto à sua utilidade para os deficientes visuais.

As seguintes propriedades serão levadas em consideração no modelo de interface assistida proposto: textura (propriedades materiais), forma exata (propriedades geométricas) e forma global (propriedades espaciais). Espera-se que esta interface assistida possa ser utilizada por deficientes visuais para manipular hápticamente objetos gráficos virtuais. Como o tato é utilizado como mecanismo primário de *feedback*, esta interface pode ser plenamente utilizada por indivíduos cegos totais.

Interação com Texturas

A textura é uma característica da superfície de um objeto que é facilmente identificada pelo tato. A representação de texturas através de dispositivos hápticos, em particular através de dispositivos reativos, é uma tarefa bastante complexa (McGee et al., 2001). O uso de dispositivos reativos, por serem baseados em aplicação de força, dificulta a percepção de texturas virtuais devido a sua relação com o componente cutâneo do tato.

Para estimular a percepção de propriedades materiais de objetos virtuais, este trabalho propõe a simulação de texturas baseadas na representação da rugosidade, uma das características mais comuns de superfícies de objetos (juntamente com a rigidez). Tal escolha deve-se ao fato da rugosidade ser uma característica cuja implementação é mais facilmente representada por dispositivos reativos.

A Figura 3 ilustra o modelo reativo genérico de texturas implementado neste trabalho. Um objeto virtual pode ter uma textura característica para a sua borda e seu interior. Qualquer objeto fechado pode ter uma textura associada. Através deste modelo simples é possível implementar qualquer tipo de textura e não apenas aquelas viabilizadas por um tipo particular de dispositivo háptico. Quando um usuário manipula um objeto que possui textura, a interface sinaliza para a textura três tipos de eventos possíveis: *enter*, *move*, *leave*.

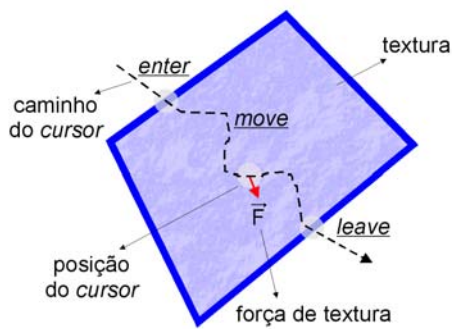


Figura 3: Modelo Genérico de Texturas

Interação com Objetos Geométricos

A representação háptica de modelos geométricos virtuais ainda está muito limitada pelas tecnologias hápticas atuais. A técnica mais utilizada neste caso é a representação de contorno em alto (ou baixo) relevo. Esta técnica é derivada do procedimento exploratório ótimo para a percepção da forma exata de um objeto real (*Enclosure*).

Para estimular a percepção geométrica (ou seja, a forma exata) de um usuário ao manipular hápticamente um objeto virtual, será utilizado forças reativas de atração (estimulando componente cinético do tato) para manter o usuário próximo da borda do objeto e forças reativas de textura (estimulando o componente cutâneo do tato) para que o usuário perceba que está tocando a borda do objeto ou o seu interior (Figura 4).

Neste caso, tem-se uma combinação de duas formas de percepção que qualitativamente trazem informações ortogonais. Este procedimento aumenta o nível de percepção de propriedades geométricas.

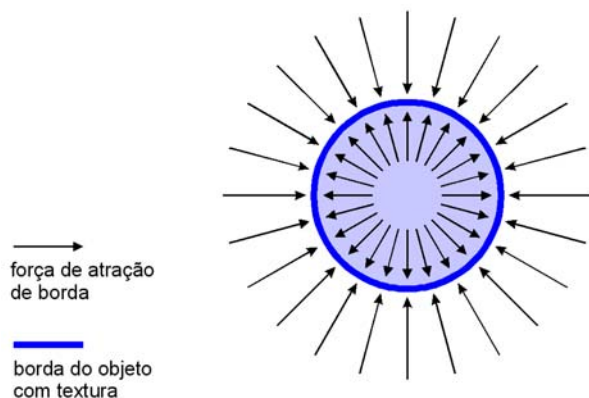


Figura 4: Forças Reativas de Atração e de Textura

O motivo de serem utilizadas forças reativas para estimular o usuário percorrer a borda do objeto não é apenas devido ao fato deste ser o método naturalmente utilizado por pessoas (deficientes visuais e videntes) para identificar a forma geométrica de objetos do

mundo real. Arestas e faces, ou seja, formas definidas por contornos, são as características perceptuais geométricas mais importantes de um objeto e é assim que as pessoas (deficientes visuais e videntes) percebem os objetos na ausência da visão. Além disso, foi utilizado forças reativas de atração pois tais forças estimulam o usuário a percorrer o contorno do objeto. Forças de repulsão, ao contrário, estimulam a exploração do interior (Sjöström et al, 2000)..

A Figura 5 ilustra a forma de ser calculada a força reativa de atração para a borda do objeto. Na figura, o objeto, uma linha poligonal, é representado por sua borda. Até uma distância máxima D , representada pela região pintada, o *cursor*, cuja posição é p , é atraído para p' , o ponto mais próximo do objeto. A força de atração F tem intensidade proporcional à distância d do *cursor* ao objeto. Os valores de d e p' são calculados através da transformada de distância do objeto.

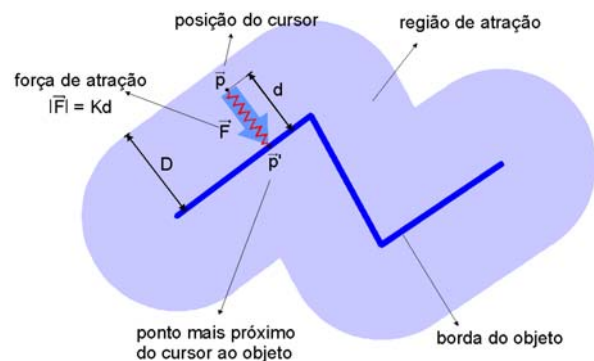


Figura 5: Modelo Reativo de Atração para a Borda

Na prática, pode-se imaginar que o usuário interage com o objeto tendo a sensação de haver uma mola móvel ligando o *cursor* ao objeto. Ou seja, se o *cursor* mantiver-se sobre a borda do objeto, o usuário não sentirá força alguma. Caso se afaste da borda, a força vai aumentando até um valor máximo, ou seja, quando atingir a distância D da borda. Se o usuário tentar se afastar mais ainda, esse vínculo é desfeito e a força de atração para este objeto deixa de atuar. Neste caso, considera-se que o usuário desistiu de seguir a borda deste objeto e o *cursor* poderá ir para o espaço vazio, onde se moverá livremente, ou poderá ser atraído por um outro objeto próximo, caso a distância até ele seja menor ou igual a D .

O modelo matemático mais adequado para desenvolver uma interface espacial reativa e, em particular, implementar o modelo de atração mostrado na Figura 5 é, sem dúvida, transformada de distância. Este modelo matemático torna muito mais simples o cálculo da força reativa de atração para a borda do objeto e ainda oferece meios de balancear a resolução espacial do

dispositivo reativo e a resolução espacial da imagem que está sendo manipulada pelo usuário.

Percepção de Propriedades Espaciais

No contexto deste trabalho, entende-se por propriedades espaciais aquelas relacionadas com a percepção da disposição relativa de objetos (ou seja, à direita, à esquerda, à frente e atrás de uma determinada referência) e com a percepção de tamanho (comprimento, área ou volume).

A percepção de tamanho está diretamente relacionada com o procedimento exploratório *Enclosure*, que não pode ser diretamente simulado através dos atuais dispositivos que oferecem apenas interações hápticas pontuais. Entretanto, espera-se que o procedimento exploratório *Contour Following*, implementado neste trabalho, seja suficiente para a percepção do tamanho de objetos virtuais.

Com relação à percepção da disposição relativa de objetos, espera-se também que a manipulação ativa, ou seja, o movimento aplicado pelo usuário no dispositivo reativo, seja capaz de transmitir a ele a noção de disposição relativa de objetos.

Para que isto aconteça é necessário, entretanto, que o sistema de coordenadas do dispositivo reativo seja absoluto. Dispositivos de entrada que utilizam sistema relativo de coordenadas, em especial o *mouse* e *trackball*, são inúteis para os deficientes visuais justamente por não permitirem a identificação da posição do *cursor* na tela do computador (Fraser & Gutwin, 2000).

PROTÓTIPO DE INTERFACE ASSISTIDA

Baseando-se nas idéias apresentadas na seção anterior, foi implementado um protótipo de uma interface assistida para deficientes visuais que simula as propriedades não visuais relacionadas com características materiais, geométricas e espaciais de objetos virtuais. Este protótipo utiliza o *joystick Microsoft Sidewinder Force Feedback 2* como dispositivo háptico para implementar os mecanismo reativos de atração para borda e texturas virtuais. Espera-se que este dispositivo seja capaz de transmitir ao deficiente visual a noção de textura, forma e espacialidade.

Para calcular a força reativa, foi utilizado o algoritmo de Mauch (Mauch, 2000) para o cálculo da transformada de distância. Este algoritmo é bastante eficiente para objetos geométricos lineares por partes.

Três objetos geométricos simples (quadrado, círculo e triângulo) e três texturas distintas foram implementados. As texturas são:

- *Bump*. Simula (através de vibrações) uma superfície cheia de ressaltos distribuídos uniformemente;
- *Friction*. Simula a inércia ao movimento do *cursor*, como se a ele estivesse preso a um outro objeto;
- *Vibration*. Vibra continuamente enquanto o *cursor* estiver nessa textura.

A implementação do protótipo foi realizada em C++ e utiliza a biblioteca *DirectX/DirectInput* da *Microsoft*, (DirectX, 2002). Utiliza também o sistema de criação de interfaces com o usuário IUP/LED do TeCGraf/PUC-Rio (Levy et al., 1996). A implementação do protótipo segue um modelo de interação para interfaces baseadas em manipulação direta de objetos em um *canvas* gráfico (Carneiro et al., 1997). Este modelo oferece mecanismos de abstração de tarefas bidimensionais de interação, facilitando, assim, a implementação das técnicas não-visuais de interação aqui propostas. Este protótipo foi utilizado para realizar testes com usuários, conforme será discutido na próxima seção.

PRIMEIROS EXPERIMENTOS

Para validar as técnicas de interação apresentadas anteriormente, foram realizados experimentos simples com usuários do Instituto Benjamin Constant, um órgão do Governo Federal, localizado na cidade do Rio de Janeiro, destinado a educação e atendimento de deficientes visuais.

Seleção de Usuários

Um grupo de 15 usuários, na faixa etária de 15 a 38 anos, foi escolhido para participar dos testes. Foi intencionalmente selecionado um maior número de usuários completamente ou praticamente cegos e buscou-se mesclar cegos desde o nascimento e também cegos há poucos ou vários anos.

Os usuários foram separados em categorias distintas: alunos, atletas e reabilitandos. Os alunos freqüentam os cursos do ensino fundamental do Benjamin Constant. Os atletas praticam algum esporte na instituição, geralmente por lazer, tais como futebol ou corrida. Finalmente, os reabilitandos são pessoas que estão buscando readaptação após a perda da visão. Eles freqüentam cursos de mobilidade e orientação espacial, aulas de natação, dança, violão, massagem, trabalhos manuais etc.

Testes Geométricos

Têm como principal objetivo avaliar se a interface permite ao usuário identificar a forma de objetos geométricos simples, tais como quadrado, círculo e

triângulo. Foram preparadas três folhas de isopor com o contorno dos objetos esculpido em baixo relevo.

Os testes consistem em entregar as folhas ao usuário, pedir para ele senti-los e, a seguir, apresentar os mesmos objetos representados no computador. Após o usuário sentir tal objeto, pedia-se para que ele mostrasse a folha de isopor correspondente.

Testes Espaciais

Têm como principal objetivo avaliar se a interface permite ao usuário identificar a posição de um objeto em relação a outro e ter noção de tamanho. Primeiro é colocado um círculo no centro da tela e um quadrado ao redor do círculo, próximo da borda da tela. O círculo sempre fica no meio e o quadrado pode estar à direita, à esquerda, acima e abaixo do círculo. Após mostrar cada uma das quatro situações, o usuário responde qual a posição do quadrado em relação ao círculo.

Em uma outra situação, é mostrado um círculo à esquerda e um quadrado à direita. O círculo foi propositalmente construído maior que o quadrado. Após a análise do usuário, pergunta-se qual dos dois objetos é o maior.

Testes com Texturas

Têm o principal objetivo avaliar se a interface permite ao usuário diferenciar uma textura de outra. Os testes consistem em apresentar ao usuário uma tela totalmente preenchida com uma das três texturas implementadas. Após sua análise, esta tela é substituída por uma outra, dividida em quatro regiões (uma em cada canto) preenchida com as três texturas e mais uma textura vazia. O usuário terá que indicar em qual região está a textura que analisou anteriormente. O mesmo processo se repete para as demais texturas.

Optou-se por avaliar neste teste não apenas a capacidade de diferenciação de texturas, mas também as limitações do dispositivo na representação de texturas virtuais. Por este motivo, foram escolhidas duas texturas semelhantes.

Aplicação dos Testes

Inicialmente os testes foram aplicados em dois usuários videntes, porém de olhos vendados, com a finalidade de verificar a adequação das instruções e tempo de duração dos testes. A seguir, foram realizados dois testes-piloto com deficientes visuais no mesmo local onde os testes efetivos seriam aplicados. Algumas alterações importantes foram realizadas nos testes originais, tais como adequação da linguagem para o deficiente visual, eliminação de testes redundantes, modificação da ordem dos testes etc.

Os testes foram realizados em uma sala reservada do Instituto Benjamin Constant. Nesta sala ficavam apenas o usuário e o avaliador sentados ao redor de uma mesa com todo o equipamento (*notebook* rodando o programa de teste, *joystick*, microfone e câmera).

A sessão de teste foi dividida em três etapas distintas. Inicialmente, o usuário ouvia uma gravação contendo instruções básicas a respeito da sessão de testes. Depois o usuário tem a oportunidade de experimentar um pouco a interface. A seguir, os testes propriamente ditos eram aplicados ao usuário. Finalmente, o avaliador fazia uma rápida entrevista com o usuário com perguntas objetivas e algumas subjetivas.

Todas as ações dos usuários na tela do programa foram registradas através de um programa de captura de tela (com áudio). Alguns trechos dos testes também foram registrados em vídeo (com autorização e ciência dos usuários) No total, a sessão completa de teste foi planejada para durar no máximo uma hora.

Ao todo, foram realizados doze testes, sendo quatro geométricos (G1 a G4), cinco espaciais (S1 a S5) e três com texturas (T1 a T3), conforme mostrados a seguir:

- *G1*: Identificar forma de quadrado;
- *G2*: Idem, para círculo;
- *G3*: Idem, para quadrado (idêntico a *G1*);
- *G4*: Idem, para triângulo;
- *S1*: Identificar posição de quadrado à direita do círculo;
- *S2*: Idem, para quadrado à frente do círculo;
- *S3*: Idem, para quadrado à esquerda do círculo;
- *S4*: Idem, para quadrado à direita e atrás do círculo;
- *S5*: Identificar objeto maior (círculo ou quadrado);
- *T1*: Identificar textura *bump*;
- *T2*: Idem, para textura *friction*;
- *T3*: Idem, para textura *vibrating*.

RESULTADOS

A Figura 6 ilustra graficamente a porcentagem média de acerto nos testes geométricos, espaciais e com texturas realizado com os quinze usuários selecionados.

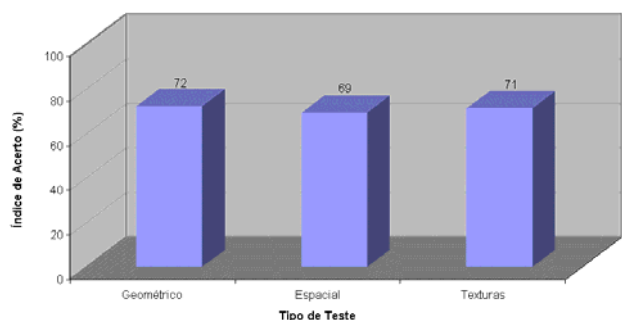


Figura 6: Resultado geral dos testes

A Figura 7 ilustra o índice de acerto dos usuários nos testes geométricos G1 a G4.

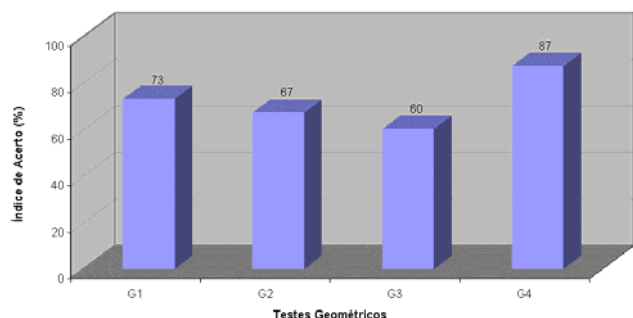


Figura 7: Índice de acerto nos testes geométricos

A Figura 8 ilustra o índice de acerto dos usuários nos testes espaciais S1 a S5.

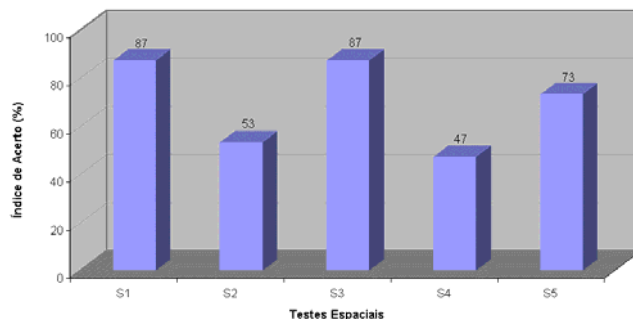


Figura 8: Índice de acerto nos testes espaciais

A Figura 9 ilustra o índice de acerto dos usuários nos testes com texturas T1 a T3.

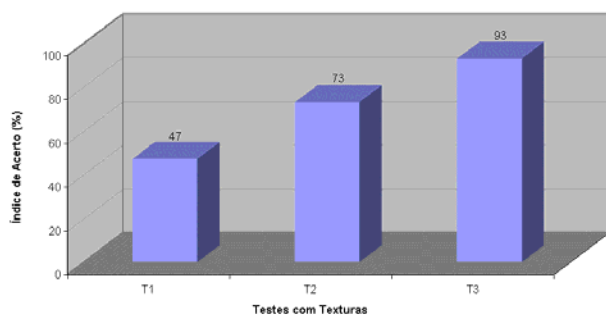


Figura 9: Índice de acerto nos testes com texturas

DISCUSSÃO

Pela Figura 6, pode-se notar que o índice geral de acerto dos usuários em todos os testes foi de 71%. De uma forma geral, acredita-se que esta média indica que os usuários compreenderem adequadamente os mecanismos de atração para a borda e simulação de texturas virtuais implementados no protótipo.

Nos testes geométricos, 13 usuários conseguiram percorrer o contorno de todos os objetos. Em somente 4 dos 60 testes geométricos (6,7% do total, com dois usuários diferentes) houve problemas neste sentido. Neste caso, as respostas dadas foram erradas. Isto é um indicio de que, caso o contorno não seja percorrido, o objeto não pode ser identificado, conforme mostrado por Lederman & Klatzky (1987).

Pela entrevista, foi possível notar que 73% dos usuários identificaram os vértices dos objetos através do som ou pela resistência do *joystick*. Os lados foram identificados através do deslizamento, força ou tremura do *joystick*. Admite-se, portanto, que a interface forneceu *feedback* suficiente para indicar ao usuário que o objeto foi percorrido por inteiro, pois a grande maioria identificou as características geométricas mais importantes, ou seja, vértices, arestas e forma.

Conclui-se, então, que esta técnica de interação não-visual para a percepção de formas geométricas foi eficiente nos casos estudados aqui, ou seja, manipulação de objetos geométricos simples (quadrado, círculo e triângulo).

Nos testes espaciais, notou-se que os usuários tiveram mais dificuldade em S2 e S4 pois os índices de acerto foram inferiores aos demais testes. O motivo pode ser ergonômico: a posição do braço do usuário na horizontal favorece o movimento para a esquerda ou direita (o cotovelo e o antebraço nem precisam se deslocar). Em S5 o índice de acerto foi alto (73%) indicando que, pelo menos aparentemente, não houve maiores problemas. Em 65 dos 75 testes espaciais aplicados (87% do total), os usuários conseguiram mover o *cursor* com a intenção de encontrar os objetos apresentando consciência.

Estes resultados sugerem indícios de que a interface poderia oferecer ao usuário melhores níveis de *feedback*. Seria interessante investigar o uso de outras modalidades de *feedbacks*, por exemplo, sonoro, para ampliar a percepção espacial do usuário.

Nos testes com texturas, houve divergências na percepção de cada textura individualmente: T1 teve índice de acerto de apenas 47%, enquanto com T3 este índice foi de 93%. Possivelmente, a ordem de apresentação das texturas influenciou no resultado: sendo a última, os usuários teriam mais tempo para

perceber T3. Um outro teste, com a ordem das texturas alterada, poderia comprovar ou não esta hipótese. Pela entrevista, observou-se que T1 foi confundida com T3.

Notou-se também que, apesar de todas as confusões, a grande maioria dos usuários entendeu o que são texturas virtuais, pois souberam caracteriza-las com razoável precisão. As respostas mais comuns foram:

- *T1*: grama artificial, carpete, terreno áspero, cheio de obstáculos, saliências, asfalto, calçada de Copacabana, paralelepípedos, esteira;
- *T2*: manguezal, pastoso, mole, areia, grama alta, massa, vidro engorurado;
- *T3*: lixa, vibrante, trêmula.

CONCLUSÃO

Este trabalho mostra que a utilização de tecnologias hápticas de *hardware* e *software* é de grande importância para os deficientes visuais e apontam para uma causa justa. Até o presente momento, este assunto foi pouco discutido pela comunidade acadêmica.

Este trabalho apresenta técnicas não-visuais de interação e um modelo de baixo nível de interface assistida capaz de simular virtualmente propriedades perceptuais relacionadas primariamente com o tato humano. Os estudos aqui apresentados estão fundamentados em resultados de pesquisas na área da psicologia de percepção, técnicas de computação gráfica e interface com o usuário e modelos matemáticos aplicados. Este suporte científico tornou possível a especificação e implementação de um protótipo de interface assistida para deficientes visuais. Esta interface não-visual está baseada em características únicas do tato humano, tais como a bidirecionalidade e a ortogonalidade da percepção proporcionada por diferentes sensores táteis, e em mecanismos típicos de percepção utilizado por deficientes visuais, como, por exemplo, construção de modelos mentais baseado na estrutura espacial dos objetos manipulados.

Os testes preliminares com o protótipo de interface assistida mostrou que, mesmo utilizando tecnologias convencionais e de baixo custo, é possível transmitir ao deficiente visual a percepção virtual de propriedades não-visuais relevantes, tais como, noção de geometria, espacialidade e texturas. Estes resultados contribuem para proporcionar ao deficiente visual ferramentas básicas que os permitirão acessar boa parte do conteúdo quase totalmente visual das atuais aplicações utilizando interfaces gráficas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Instituto de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) e Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Os autores agradecem a participação ativa de professores, funcionários e alunos do Instituto Benjamin Constant na avaliação das principais idéias apresentadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AFB (2001). **Quick Facts and Figures on Blindness and Low Vision**. American Foundation for the Blind (AFB), Published: 5/23/01. Disponível em http://www.afb.org/info_document_view.asp?document_id=1374. Acesso em 04/12/2002.
- ANDO, H., MIKI, T., INAMI, M., MAEDA, T. (2002a). **SmartFinger: Nail-Mounted Tactile Display**, ACM SIGGRAPH, 2002. Disponível em <http://www.star.t.u-tokyo.ac.jp/projects/smartfinger/>. Acesso em 02/12/2002.
- ANDO, H., MIKI, T., INAMI, M., MAEDA, T. (2002b). **The Nail-Mounted Tactile Display for the behavior modeling**, ACM SIGGRAPH, 2002.
- AOA (2002a). **Vision Conditions**. American Optometric Association, 2002. Disponível em http://www.aonet.org/conditions/vision_conditions.asp. Acesso em 04/12/2002.