

Rumo a Interfaces Tácteis Acessíveis

Tiago Guerreiro, Hugo Nicolau, Joaquim Jorge, Daniel Gonçalves
IST / UTL / INESC-ID

Rua Alves Redol, 9, 1000-029 Lisboa

{tjvg, hman}@vimmi.inesc-id.pt, {jaj, daniel.goncalves}@inesc-id.pt

Sumário

Este artigo apresenta uma avaliação efectuada a 15 utilizadores tetraplégicos com o objectivo de compreender as suas capacidades num conjunto de técnicas de interacção (Tapping, Crossing, Exiting e Gestos Direccionais) e respectivas parametrizações (posição, tamanho e direcção). Os resultados mostraram que para cada técnica a eficácia e precisão varia de acordo com as diferentes parametrizações. Regra geral, o Tapping (método tradicional) foi a técnica de interacção preferida e entre as mais eficazes. Isto mostra que é possível criar interfaces unificadas e acessíveis a utilizadores com e sem deficiências, caso existam métodos de parametrização ou adaptação apropriados.

Palavras-chave

Ecrã Táctil, Tetraplégico, Técnicas de Interacção, Avaliação, Dispositivos Móveis.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos os tradicionais teclados dos dispositivos móveis têm vindo a ser substituídos por ecrãs tácteis. Este tipo de interfaces oferece diversas vantagens em relação aos seus homólogos. Em particular, são mais flexíveis, permitindo mostrar diferentes interfaces no mesmo dispositivo (e.g. teclado de 12 teclas, QWERTY) ou adaptar-se às preferências de cada utilizador. Mais, a capacidade de tocar e manipular directamente os seus elementos, sem dispositivos intermediários, revela ser uma forma natural e simples de interacção.

No entanto, as interfaces tácteis apresentam também alguns desafios: não oferecem pistas tácteis nem a estabilidade física dos teclados, tornando-se difícil seleccionar alvos no ecrã. Estas dificuldades tornam-se especialmente relevantes para indivíduos com baixa precisão ou controlo motor, como é o caso de utilizadores tetraplégicos.

Por outro lado, os deficientes motores podem beneficiar imenso do uso de ecrãs tácteis, sendo que muitos não têm a força ou destreza para pressionar botões físicos [Myers02]. Mais, o uso de PDAs já mostrou ser uma alternativa viável aos periféricos tradicionais (i.e. rato e teclado), permitindo que a mesma interface fosse usada em diferentes locais e contextos.

O seu elevado grau de flexibilidade torna estes dispositivos ideais para soluções personalizadas ou adaptativas, capazes de ir ao encontro das necessidades de cada utilizador. Isto apresenta grandes oportunidades para esta população, particularmente àqueles que têm falta de força ou controlo nos seus membros superiores. No entanto, é ainda muito difícil desenhar interfaces tácteis para deficientes motores, uma vez que não existe um conhecimento empírico das vantagens e limitações de cada técnica de

interacção, considerando o perfil dos utilizadores. As suas necessidades e capacidades têm de ser tidas em conta de forma a podermos desenvolver interfaces, para dispositivos móveis, mais precisas e eficazes.

Para superar esta lacuna efectuámos avaliações com 15 utilizadores tetraplégicos (Figura 1), testando 4 técnicas de interacção distintas. Estas incluíam o *Tapping*, *Crossing*, *Exiting* e *Gestos Direccionais*. Explorámos também as características do ecrã e parâmetros da interface em busca de guias de desenho que possam tornar a experiência de utilização mais agradável.

O nosso objectivo principal foi fornecer o conhecimento empírico para um desenho de interfaces tácteis acessíveis. Focamos a nossa atenção no tamanho dos alvos e posições do ecrã que são associadas a um aumento de desempenho (i.e. cantos e arestas). Neste artigo descrevemos toda a fase de avaliação, apresentamos e analisamos os resultados obtidos, não só para cada técnica, mas também entre técnicas. Por fim, retiramos algumas conclusões e propostas de desenho.



Figura 1 – Participante a interagir com o ecrã táctil durante uma sessão de avaliação.

2. TRABALHO RELACIONADO

Alguns trabalhos tentaram já melhorar o acesso a dispositivos móveis com ecrãs tácteis. Wobbrock et al. [Wobbrock03] propuseram o uso de uma caneta juntamente com a utilização dos cantos e arestas do dispositivo para a escrita de texto. Os resultados mostraram que o *EdgeWrite* oferece aos utilizadores, com deficiências motoras, um elevado grau de estabilidade nos seus movimentos. Usando uma abordagem semelhante, o *Barrier Pointing* [Froehlich07] usa as arestas e cantos do ecrã para melhorar a precisão de tarefas de selecção. Executando gestos em direcção às barreiras do dispositivo os utilizadores conseguiram seleccionar alvos com uma maior estabilidade física.

Apesar de estes trabalhos explorarem as propriedades físicas dos dispositivos para auxiliar a interacção entre deficientes motores e ecrãs tácteis, existe ainda pouco conhecimento empírico acerca do seu desempenho com outras técnicas. No entanto, muitos trabalhos de investigação têm focado a sua atenção em tentar perceber e maximizar o desempenho dos utilizadores, sem deficiências, neste tipo de dispositivos [Lee09, Lin07, Mizobuchi05, Parhi06, Park08, Perry08].

O tamanho dos alvos é um dos principais problemas no estudo de interfaces tácteis. Parhi et al. [Parhi06] conduziu um estudo para determinar o tamanho óptimo de alvos para a utilização do polegar em dispositivos móveis. Os resultados mostraram que tamanhos entre 9.2 mm e 9.6 mm podem ser usados sem uma perda de desempenho. De forma semelhante, Park et al. [Park08] analisou três tamanhos de teclas diferentes. Os resultados revelaram que o tamanho maior (10 mm) obteve o melhor desempenho e satisfação dos utilizadores. Lee e Zhai [Lee09] obtiveram resultados semelhantes, em que alvos com tamanho inferior a 10 mm sofreram uma diminuição de desempenho.

Considerando a posição dos alvos, os utilizadores preferem-nos no centro do ecrã, visto serem mais fáceis e confortáveis de alcançar. No entanto, as melhores taxas de eficácia ocorrem nos alvos perto das arestas [Park08].

Os trabalhos anteriores sugerem algumas recomendações em relação ao tamanho e localização dos alvos para interfaces móveis. Mizobuchi et al. [Mizobuchi05] efectuou um estudo para determinar como a escrita de texto num ecrã táctil, usando uma caneta, é afectada pelo movimento do utilizador. Os autores sugerem que um teclado virtual não pode ter teclas com tamanho inferior a 3 mm, para obter uma taxa de erro de 2%. No entanto, situações de deslocamento mais exigentes podem requerer alvos maiores [Lin07]. Os resultados mostram que utilizadores a andar num percurso de obstáculos conseguem seleccionar alvos de 6.4 mm com uma taxa de erro de 10%.

Apesar de estes estudos terem sido efectuados a utilizadores com deficiências situacionais [Sears03] e usarem caneta, podem ainda assim fornecer conhecimentos válidos no desenho de interfaces para deficientes motores. De facto, estes utilizadores podem experienciar problemas semelhantes, como o tremor e instabilidade física.

No entanto, estas aparentes semelhanças não são suficientes para generalizar os resultados.

Como podemos verificar, existe uma carência de conhecimento referente ao uso de superfícies tácteis por parte de deficientes motores. A experiência descrita neste artigo tenta colmatar esta lacuna testando várias técnicas de interacção, características e parametrizações, fornecendo um suporte empírico para o desenho informado de interfaces tácteis.

3. AVALIANDO AS TÉCNICAS DE INTERACÇÃO

Os dispositivos com ecrãs tácteis colocam ambos desafios e oportunidades à comunidade científica. De facto, apesar de estas interfaces imporem uma menor exigência motora, são menos exploradas que as interfaces baseadas em botões. Mais, para nosso conhecimento, estudos de desempenho de deficientes motores com ecrãs tácteis, ainda não foram realizados. Em particular, com utilizadores tetraplégicos que possuam algum movimento residual nos seus membros superiores.

3.1 Técnicas de Interacção e Variações

Nesta experiência escolhemos um conjunto de técnicas representativas das diferentes formas de interacção aplicadas a superfícies tácteis [Froehlich07, Wobbrock03]. Em seguida realizamos um estudo com utilizadores tetraplégicos observando o seu desempenho em dispositivos móveis com este tipo de interfaces.

Considerámos dois métodos de interacção base: *tapping* e gestos. Ao realizar um gesto, os utilizadores poderiam: cruzar o alvo; confirmar a selecção saindo do ecrã através do alvo; ou usar gestos direccionais (Figura 2).

Tapping no ecrã consiste em seleccionar o alvo através do toque (i.e. pousar o dedo no alvo). Esta é a técnica de interacção mais comum nas aplicações actuais, devido à sua facilidade de utilização. Nesta técnica, os alvos foram apresentados em 3 tamanhos diferentes (7, 12 e 17 mm) em todas as posições do ecrã: cantos, arestas e centro. Os tamanhos foram escolhidos com base em estudos anteriores com utilizadores sem deficiências [Lee09, Parhi06, Park08, Perry08].

Crossing, ao contrário do *Tapping* não envolve posicionar o dedo dentro do alvo. Ao invés, este é seleccionado cruzando-o. Trabalhos anteriores demonstraram que esta técnica oferece um melhor desempenho, a deficientes motores, do que as técnicas de interacção tradicionais [Wobbrock08]. Os alvos foram apresentados apenas nas posições centrais do ecrã (ver Figura 3) em 3 tamanhos distintos.

Exiting é semelhante ao *Crossing*, mas a selecção consiste na execução de um gesto em direcção à borda do ecrã,

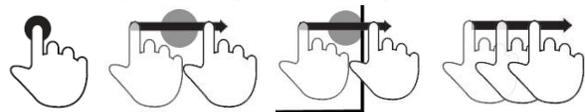


Figura 2 - Tapping, Crossing, Exiting, e Gestos Direccionais.



Figura 3 - Qtek 9000. Zonas do ecrã (esquerda): preto – cantos; cinza – arestas; branco – centro; Alvo (direita).

saindo pelo alvo pretendido. Para esta técnica, os alvos foram mostrados em todos os tamanhos, no entanto, apenas nos cantos e arestas.

Os *Gestos Direccionais* eram a única técnica de interacção que não consistia na selecção de alvos. Os utilizadores podiam executar gestos direccionais em qualquer zona do ecrã. Esta técnica foi escolhida devido à sua flexibilidade e, assim como o *Tapping*, é bastante usada nas interfaces tácteis actuais.

3.2 Questões de Investigação

Esta avaliação tenciona responder a algumas questões relativamente à nossa população-alvo:

1. Qual o melhor tamanho para cada técnica?
2. Qual a melhor zona do ecrã (canto, aresta ou centro) para cada técnica de interacção?
3. Qual a melhor técnica de interacção?
4. Qual a melhor técnica para cada zona do ecrã?
5. Qual a melhor combinação técnica-tamanho-zona?

3.3 Participantes

Foram recrutados quinze participantes num centro de fisioterapia (13 do sexo masculino), com idades compreendidas entre 28 e 64 anos e lesões de C4 a C7. Todos os utilizadores possuíam algum controlo residual nos membros superiores (9 com a mão direita como dominante).

Antes da experiência todos os participantes executaram uma avaliação de capacidades (aperto, alcance e precisão). Esta avaliação funcional teve como objectivo ter uma medida objectiva das capacidades dos participantes, complementando o nível de lesão. No entanto, não foram encontradas correlações entre as suas características e desempenho nas tarefas propostas [Guerreiro10].

Em relação à familiaridade com tecnologia, todos os participantes possuíam um telefone móvel e usavam-no diariamente. No entanto, nenhum deles tinha um dispositivo com ecrã táctil.

3.4 Material

Nesta experiência usámos um PDA, QTEK 9000 (Figura 3), com *Windows Mobile 5.0*. O dispositivo móvel tinha

uma resolução de 640x480 (73x55 mm) pixéis e possuía bordas salientes. Durante a avaliação foi feita captura de vídeo e todas as interacções com o dispositivo foram guardadas através de um mecanismo de *logging* para posterior análise.

3.5 Procedimento

No início da avaliação foi dito aos participantes que o objectivo geral do estudo era investigar e comparar diferentes técnicas de interacção para ecrãs tácteis e a sua adequação às capacidades de utilizadores tetraplégicos. Em seguida, foi feito um questionário e o teste de avaliação das capacidades de forma a caracterizar cada participante. Por fim, foi-lhes explicada e demonstrada cada técnica de interacção (*Tapping*, *Crossing*, *Exiting* e *Gestos Direccionais*).

Para reduzir efeitos de aprendizagem os participantes tiveram um período de treino antes de avaliar cada uma das técnicas, onde podiam mover o dispositivo e colocá-lo na posição mais confortável. Todas as sessões foram realizadas num local calmo (em suas casas ou no centro de fisioterapia), sempre com os participantes sentados nas suas cadeiras e com uma mesa de apoio, ou descanso para o braço, à sua frente (Figura 1). Os participantes eram livres de usar qualquer parte da mão para interagir com o ecrã táctil.

A cada utilizador foi-lhe pedido para efectuar selecções de alvos com cada uma das técnicas (*Tapping*, *Crossing* e *Exiting*). Para os *Gestos Direccionais* não existiam alvos e os participantes tinham apenas de realizar gestos em diferentes direcções (e.g. norte). Existiam 16 possíveis direcções, incluindo diagonais e gestos com suporte das arestas (e.g. norte usando a aresta do lado direito).

Os participantes tinham apenas uma tentativa para completar a tarefa e não eram informados do seu resultado. No entanto, recebiam retorno de que uma acção tinha sido realizada. Após 2 segundos o alvo seguinte aparecia no ecrã.

Para as técnicas de selecção de alvos foram usados 3 tamanhos diferentes (7, 12 e 17 mm). Estes tamanhos foram escolhidos com base na literatura existente [Lee09, Parhi06, Park08, Perry08]. Os testes foram seleccionados de forma aleatória. Em cada conjunto técnica-tamanho, as posições dos alvos foram também apresentadas aleatoriamente. Assim, cada participante realizou 142 acções, ou seja, um total 2130 acções em toda a experiência.

3.6 Medidas

As medidas usadas nesta avaliação foram obtidas através da nossa aplicação de teste, responsável por capturar todas as interacções com o dispositivo. As variáveis dependentes eram *Erros de Tarefa*, *Precisão*, *Erro de Movimento* e *Tempo de Movimento*.

Para as técnicas de selecção de alvos (*Tapping*, *Crossing* e *Exiting*), a *Precisão* foi calculada com base na distância mínima ao centro do alvo. Para os *Gestos Direccionais*, a *Precisão* correspondia à distância média ao eixo da direcção pretendida.

Para as abordagens gestuais (*Crossing*, *Exiting* e *Gestos Direccionais*) os tempos e erros [Soukoreff04] dos movimentos foram também capturados. O *Tempo de Movimento* correspondia à duração do toque no ecrã durante a realização do gesto. O *Erro de Movimento* era a medida absoluta do desvio ao eixo do gesto realizado. A diferença entre *Erro de Movimento* e *Precisão* é que o primeiro consiste numa medida de estabilidade do movimento realizado, enquanto o último tem em conta apenas o objectivo da tarefa (direcção ou proximidade ao alvo).

3.7 Desenho da Experiência e Análise

Nesta avaliação variámos a técnica de interacção, tamanho e posição dos alvos. Mais, usamos um desenho intra-grupos, onde cada participante testou todas as condições. Para a análise da posição criamos dois factores adicionais: Áreas Verticais e Distância (ver Figura 6). A última reflecte a posição do alvo em relação ao suporte do participante (o nível 1 refere-se à posição mais próxima e o nível 5 à mais distante). Apesar de estar visualmente representada para participantes dextros, esta medida foi normalizada para ambas as mãos.

Testes de *Shapiro-Wilkinson* sobre os valores observados para *Erros de Tarefa*, *Precisão*, *Erro* e *Tempo de Movimento* mostraram seguir uma distribuição normal para todas as técnicas de interacção. Logo, foi aplicada uma *Repeated-measures ANOVA* na análise dos resultados.

4. RESULTADOS

O nosso principal objectivo consiste em perceber as capacidades e limitações da população-alvo no uso de ecrãs tácteis. Pretendemos assim estudar diferentes técnicas e realçar as suas vantagens e falhas. Primeiro, focamos em cada técnica separadamente; assim, se forem usadas numa interface, poderão sê-lo de forma sustentada. Depois, analisamos as técnicas em conjunto, comparando a sua eficácia em condições variadas. Este conhecimento permite a quem idealiza e desenha interfaces decidir como adequar a interacção em cada circunstância.

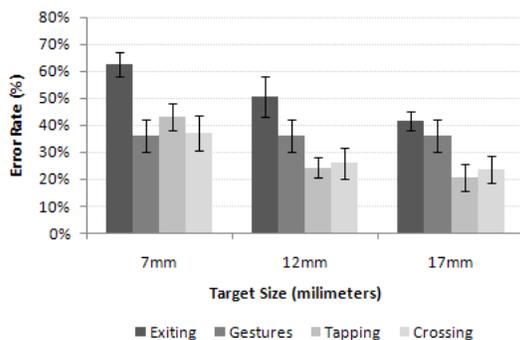


Figura 4 – Taxa de erros para cada Técnica e Tamanho. Barras de erro denotam IC de 95%.

4.1 Analisando cada técnica

As técnicas analisadas (resultados gerais de eficácia apresentados na Figura 4) têm diferentes essências e cada uma apresenta as suas vantagens e desvantagens. Nesta secção apresentamos os resultados obtidos para cada técnica e analisamos diferenças apenas entre variantes da mesma.

4.1.1 Tapping

Esta técnica foi analisada em relação a *Erros e Precisão*. A Figura 5 apresenta as *Taxas de Erro* para cada *Posição* para todos os *Tamanhos*, dando uma visão geral sobre os resultados do *Tapping*. Olhando para variações da experiência:

Tamanho. Foi encontrado um efeito significativo do *Tamanho* nos *Erros* ($F_{1,42}=25.10, p<.001$). Um teste de comparações múltiplas mostrou diferenças significativas entre os tamanhos pequeno e médio, bem como entre os tamanhos pequeno e grande (Figura 4). Estes resultados sugerem 12 mm como um valor aproximado aceitável para aquisição de alvos por pessoas com deficiências motoras com resíduo nos membros superiores. Em relação à *Precisão*, não foram encontradas diferenças significativas entre tamanhos.

Cantos. Não encontramos diferenças significativas da *Posição* do alvo (canto ou centro) nos *Erros* (tamanhos médio e grande). Um efeito menor ($F_{1,28}=3.10, p<.1$) foi encontrado no tamanho menor (menos erros nos cantos). No que diz respeito à *Precisão*, foi encontrado um efeito significativo no tamanho médio, indicando melhores resultados nos cantos ($F_{1,14}=8.941, p<.01$). Isto indica que os cantos oferecem maior estabilidade para um movimento preciso embora não se reflecta numa maior eficácia.

Arestas. Não foram encontradas diferenças significativas nos *Erros*, independentemente do *Tamanho* e da *Posição* do alvo ser na aresta ou não. No entanto, foi encontrado um efeito significativo da *Posição* (aresta ou centro) na *Precisão* para o tamanho pequeno ($F_{1,28}=14.41, p<.01$), médio ($F_{1,28}=6.85, p<.005$) e grande ($F_{1,28}=27.67, p<.001$), mostrando maior precisão nas arestas. Tal como nos alvos dos cantos, a estabilidade física oferecida pelas arestas é também benéfica para uma selecção mais precisa.

Áreas Verticais. Foi encontrada uma diferença significativa nos tamanhos médio ($F_{1,42}=3.59, p<.05$) e grande ($F_{1,42}=5.19, p<.05$) (Figura 6). Um teste de comparações

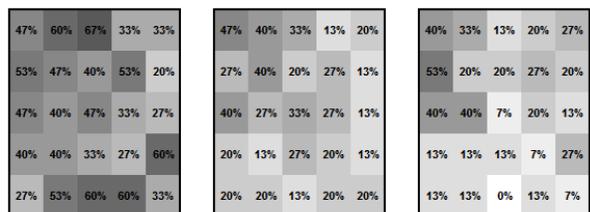


Figura 5 – Mapa de Taxas de Erros para cada Tamanho: 7mm (esquerda), 12 mm (centro) e 17mm (direita). Refere-se ao centro do alvo.

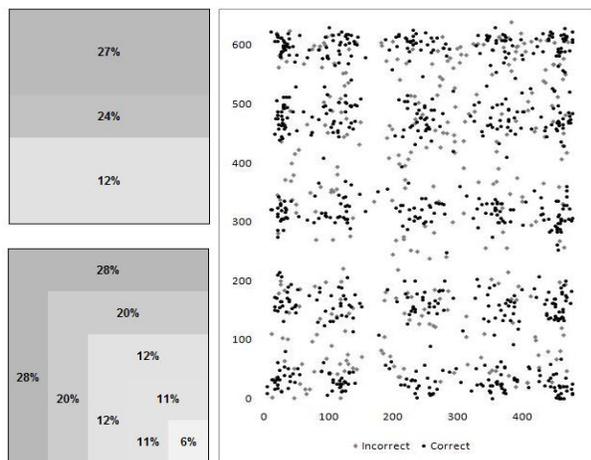


Figura 6 – Taxa de Erros (esquerda): áreas verticais (cima) e níveis de distância (baixo) no tamanho maior. Taps realizados mostrando Erros e Precisão (direita).

múltiplas mostrou diferenças entre os alvos de topo e os de baixo, com taxas de erro mais altas nos alvos do topo do ecrã. Relativamente à *Precisão*, um efeito menor foi encontrado nos tamanhos médio e grande, apontando também para diferenças entre alvos de topo e de baixo (mais precisão nos de baixo). Estes dados sugerem que os utilizadores seleccionam com maior eficácia e precisão alvos que estejam mais perto do ponto de fixação do seu braço.

Distância. Similarmente ao resultado das áreas verticais, a *Posição (Distância)* (Figura 6) teve um efeito significativo nos *Erros* no tamanho grande ($F_{1,70}=4.56, p<.01$). Testes *Post-hoc* mostraram diferenças significativas entre os níveis 1,2 (mais perto do braço do utilizador) e o nível 5. Existiu também um efeito significativo da *Posição (Distância)* na *Precisão*, no tamanho menor ($F_{1,70}=6.04, p<.001$), entre os níveis 2,4 e o nível 5, e no tamanho médio ($F_{1,70}=4.85, p<.01$) e tamanho grande ($F_{1,70}=8.31, p<.001$) entre os níveis 2,3,4 e o nível 5.

4.1.2 Crossing

O estudo desta técnica contemplou alvos nas nove posições centrais, evitando alvos junto às arestas/cantos (estes alvos foram avaliados separadamente como uma técnica particular – *Exiting*). A análise ao *Crossing* incluiu, para além dos *Erros e Precisão*, análise ao *Tempo e Erro de Movimento*.

Tamanho. Foi encontrado um efeito significativo do *Tamanho* dos alvo nos *Erros* cometidos ($F_{1,42}=6.56, p<.01$). As diferenças significativas foram encontradas entre o tamanho mais pequeno e maior (Figura 4). Quanto à *Precisão*, um efeito menor foi detectado entre os mesmos tamanhos. Não foi encontrado qualquer efeito no *Tempo* ou *Erro do Movimento*. Esta ausência de efeitos sugere que o *Tamanho* não tem influência na forma como os utilizadores cruzam os alvos (o tipo de movimento e o tempo dispendido a executar o gesto).

Áreas verticais. Verticalmente, não foi encontrado nenhum efeito da *Posição (Áreas Verticais)* nos *Erros*,

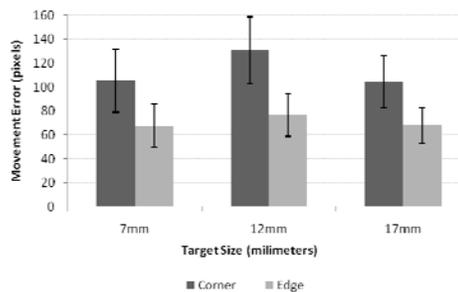


Figura 7 – Erro de Movimento, por tamanho, comparando cantos e arestas (Exiting). Barras de erro denotam um IC de 95%.

Precisão, Tempo ou Erro do Movimento. Este resultado era esperado visto que todos os alvos se encontram em posições centrais, minimizando as diferenças verticais.

Distância. Não foram encontradas diferenças significativas da *Posição (Distância)* nos *Erros, Precisão, Tempo, ou Erro do Movimento*.

4.1.3 Exiting

Exiting é semelhante ao *Crossing* mas é realizada com alvos junto às arestas e cantos. Assim, os utilizadores realizam o gesto de encontro à barreira física (limite do ecrã), saindo (*exiting*) do ecrã. A análise a esta técnica inclui observação de *Erros, Precisão, Tempo e Erro de Movimento*.

Tamanho. Houve um efeito significativo do *Tamanho* nos *Erros* ($F_{1,42}=7.77, p<.01$) entre o tamanho menor e maior. (Figura 4). Não foi encontrado qualquer efeito no *Precisão, Tempo ou Erro do Movimento*. Tal como no caso do *Crossing*, a ausência de significância sugere que o *Tamanho* não influencia a forma como o utilizador prepara e realiza o gesto.

Cantos. Não encontramos efeitos significativos da *Posição (cantos ou apenas aresta)* nos *Erros, Tempo ou Precisão*, em qualquer dos tamanhos. Quanto ao *Erro de Movimento*, existiram diferenças significativas nos tamanhos menor ($F_{1,28}=5.04, p<.05$), médio ($F_{1,28}=9.48, p<.01$) e maior ($F_{1,28}=10.32, p<.01$) (Figura 7). Assim, os utilizadores têm semelhante eficácia nos cantos ou arestas mas produzem gestos mais erráticos quando o seu movimento é mais restringido (um alvo num canto tem menor superfície para o gesto do que um alvo na aresta). Observação dos movimentos mostrou que os utilizadores têm preferência por gestos específicos. Estas preferências podem colidir com as restrições impostas por um alvo no canto levando a um movimento convoluído.

Áreas Verticais. Houve um efeito significativo da *Posição* nos *Erros* no tamanho médio ($F_{1,42}=3.42, p<.05$), mostrando maior eficácia nos alvos de topo. Também relevante, um efeito significativo foi encontrado na *Precisão* ($F_{1,42}=4.43, p<.05$) e no *Erro de Movimento* ($F_{1,42}=4.12, p<.05$), no tamanho pequeno, sugerindo que os utilizadores conseguiram contrapor a falta de eficácia com um movimento mais convoluído. No tamanho maior, não foram encontradas diferenças. Estes resultados contrastam com os resultados do *Tapping*. Análise

aos movimentos nas filmagens realizadas mostrou que para os alvos de topo, na maior parte dos casos bem sucedidos, o contacto com a superfície é realizado numa zona próxima do utilizador. Isto pode indicar que os utilizadores abordam melhor a superfície numa zona próxima mas conseguem depois produzir gestos eficazes em direcção ao topo (Figura 9 – esquerda e centro).

Distância. A *Posição (Distância)* mostrou ter um efeito significativo na *Precisão* no tamanho menor ($F_{1,70}=4.08$, $p<.05$). As diferenças mostraram-se significativas entre a distância intermédia (pior precisão) e ambos os alvos perto e longe. Observação dos testes sugere que os utilizadores seleccionam melhor alvos mais perto do suporte do braço (resultados apoiados pelos resultados do Tapping). Após o contacto, os gestos mais eficazes são aqueles com uma direcção mais rectilínea. Este facto também é suportado pelos resultados reportados para as Áreas Verticais. Um efeito significativo da *Posição (Distância)* foi também revelado no *Tempo*, tanto no tamanho médio ($F_{1,70}=3.48$, $p<.05$) como no maior ($F_{1,70}=3.55$, $p<.05$), sugerindo que quanto mais longe estão os alvos mais tempo demora a aquisição (implica gestos mais longos visto que o contacto é feito mais perto do suporte do braço).

4.1.4 Gestos Direccionais

Nos gestos direccionais, não existem alvos nem consideramos tamanhos, apenas direcções. Este método inclui análise a *Erros, Precisão, Tempo e Erro de Movimento*.

Arestas. Não encontramos diferenças significativas entre *Posição* (gestos suportado pelas arestas ou em qualquer outra zona do ecrã) e *Erros* ou *Precisão*. No entanto, existiu um efeito significativo no *Erro de Movimento* ($F_{1,28}=26.68$, $p<.001$) (Figura 8). Este efeito foi encontrado entre gestos realizados nas arestas (menos erros) e realizados em qualquer zona central do ecrã. No entanto, estas diferenças são influenciadas pelos maus resultados obtidos nos gestos diagonais (que são significativamente piores que os gestos verticais e horizontais). Se estes gestos forem descartados, não existem diferenças significativas entre gestos realizados “no meio do ecrã” e suportados pelas arestas. Em relação ao *Tempo*, existe uma diferença significativa entre os gestos suportados pela aresta (mais rápidos) e os realizados no centro do ecrã ($F_{1,70}=2.52$, $p<.05$).

Áreas Verticais. Não encontramos qualquer efeito em nenhuma das variáveis dependentes.

Direcção. Não foram encontradas diferenças significativas entre a *Direcção* do gesto e os *Erros* ou *Precisão*. Muitos erros foram devido a toques não-intencionais no ecrã mas sem relação com qualquer direcção em particular. Inspeção visual sugeriu que algumas direcções são mais problemáticas, mas estas diferenças não foram significativas. Relativamente ao *Erro de Movimento* ($F_{1,224}=15.14$, $p<.001$) e *Tempo* ($F_{1,224}=2.52$, $p<.05$), as diferenças foram significativas. Os gestos diagonais são os mais erráticos, gestos suportados pelas arestas são

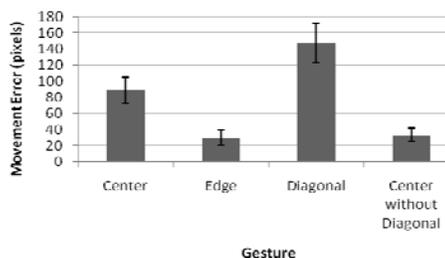


Figura 8 – Erro de Movimento considerando diferentes direcções e zonas de ecrã. Barras de erro denotam um IC de 95%.

mais lineares e gestos centrais (sem diagonais) situam-se entre os restantes.

4.2 Análise mista

A análise realizada a cada técnica reforça a ideia de que a eficácia e precisão são afectadas pelas características dos alvos, como a sua posição no ecrã ou tamanho. Este efeito tem proporções diferentes nas diferentes abordagens propostas. Já analisámos cada método individualmente. Iremos agora focar na comparação das técnicas e em perceber qual a mais adequada para certos pares posição/tamanho.

4.2.1 Uma visão geral sobre as técnicas

A apresenta as percentagens de *Erros* para todas as técnicas e tamanhos. Foi encontrado um efeito significativo da *Técnica* utilizada nos *Erros* no tamanho pequeno ($F_{1,56}=5.97$, $p<.01$), médio ($F_{1,56}=5.66$, $p<.01$) e grande ($F_{1,56}=8.04$, $p<.01$). Para o tamanho mais pequeno, as diferenças são significativas entre *Exiting* (pior) e todos os outros, enquanto para os outros tamanhos, o *Exiting* é significativamente pior que o *Tapping* e o *Crossing*. Em geral, o *Exiting* realça-se como um método menos eficaz embora as suas falhas diminuam quando comparado com abordagens por gestos direccionais, à medida que o tamanho do alvo aumenta. O *Tapping* e o *Crossing* revelaram-se como as técnicas mais eficazes sem diferenças significativas entre elas. Em suma, as diferenças nos *Erros* dos tamanhos médio para o grande não são significativas, sugerindo convergência e, assim, o tamanho médio como um bom compromisso.

4.2.2 Interagir com suporte da aresta

Pode-se argumentar que as bordas do ecrã oferecem um suporte positivo para a interacção. Nas técnicas consideradas, pedimos aos utilizadores para seleccionar alvos junto à aresta (*Tapping*) e para realizar gestos com suporte da mesma (*Gestos Direccionais*). Não foi encontrado um efeito da *Técnica* (*Tapping* na aresta vs. *Gestos* na aresta) nos *Erros* nos tamanhos pequeno e médio. Um efeito menor foi encontrado no tamanho maior sugerindo maior eficácia em toques na aresta (*Tapping*) ($F_{1,28}=3.15$, $p<.1$). Isto é compreensível visto que as arestas forçam o utilizador a um determinado gesto numa determinada direcção (ex: da esquerda para a direita). Uma que pode ser impossível ou fácil de atingir. O *Tapping* é menos restritivo visto que o utilizador continua a poder abordar o alvo como mais lhe convier.

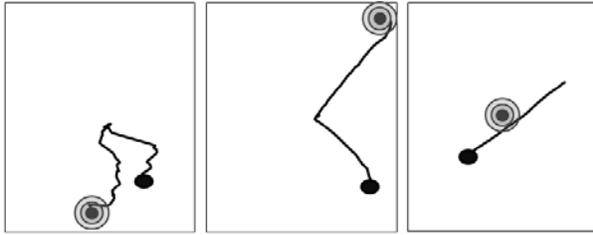


Figura 9 – Exemplo de gestos realizados pelo Participante #3.

4.2.3 Seleccionar alvos na aresta

Uma das supostas barreiras para uma experiência eficaz no uso de ecrãs tácteis é a ausência de elementos físicos a suportar os elementos visuais. É comuns as interfaces móveis apresentarem alvos junto às arestas (ex: fechar janela, atalhos, menu). As arestas do ecrã representam o último suporte táctil (que já não existe em alguns modelos). Queremos perceber se as arestas são um benefício na aquisição de um alvo e qual a melhor opção para os seleccionar.

Do grupo de técnicas apresentado, os utilizadores seleccionaram alvos na aresta através do *Tapping* ou cruzando-os em direcção à borda (*Exiting*). Não foram encontradas diferenças significativas entre estas duas abordagens, sugerindo eficácia semelhante.

As técnicas individuais também não mostraram nenhum efeito da *Posição* (aresta ou não) na eficácia de selecção (*Erros*) (ver secção 4.1). No entanto, um efeito significativo foi encontrado nos *Erros* na comparação entre as abordagens de *Crossing* e *Exiting* nos tamanhos menor ($F_{1,28}=12.62, p<.01$), médio ($F_{1,28}=12.97, p<.01$) e maior ($F_{1,28}=5.95, p<.05$), mostrando que um gesto para um alvo no meio do ecrã é mais eficaz que um gesto em direcção a uma aresta (Figura 4). Isto pode dever-se às restrições impostas no cenário da aresta.

4.2.4 Interagir no centro do ecrã

O centro do ecrã refere-se a todos os alvos que não estejam em contacto com nenhuma aresta. Este grupo representa a maior percentagem da superfície de interacção e vale a pena compreender como podem os utilizadores melhor interagir aí. Neste estudo, os participantes podiam tocar (*Tapping*) ou cruzar (*Crossing*) um alvo no meio do ecrã e ainda realizar gestos direccionais nessa zona. Nesta análise descartámos os gestos diagonais, visto estes já terem sido vistos como catastróficos para esta abordagem. Não encontramos diferenças significativas da *Técnica* nos *Erros*, sugerindo que os utilizadores apresentam eficácia semelhante a interagir no centro do ecrã.

4.2.5 Opiniões dos Utilizadores

Quando questionados acerca da Facilidade de Utilização (numa escala de Likert de 5 pontos), a mediana [quartis] dos valores atribuídos pelos utilizadores foram para o *Exiting* 2[2, 3], *Tapping* 4[4, 4.5], *Crossing* 4[4, 4] e Gestos Direccionais 4[4, 4], mostrando uma ligeira preferência pelo *Tapping*. Esta ideia é reforçada quando os utilizadores foram questionados sobre a sua técnica pre-

ferida (9/15 seleccionaram *Tapping*, 3/15 seleccionaram *Crossing*, e 3/15 seleccionaram *Gestos Direccionais*).

5. DISCUSSÃO

Após a análise de cada técnica e da comparação entre elas, estamos agora em posição de responder às questões de investigação propostas no início deste estudo.

1. Qual o melhor tamanho para cada técnica?

Para todas as técnicas, os melhores tamanhos foram o médio e o maior (12 e 17 mm) sem diferenças significativas entre ambos. Da perspectiva de alguém que desenha interfaces, alvos com 12 mm serão um bom compromisso devido às restrições de espaço dos dispositivos móveis. Tem de ser feita a excepção à técnica *Exiting*, que apenas se mostrou significativamente diferente entre os tamanhos menor e maior. Assim, fazer um gesto de encontro a um alvo na aresta requer alvos maiores.

Apesar destes resultados, a média de Erros é ainda alta (20%), quando comparada com a reportada para pessoas sem deficiências motoras [6, 11, 12, 13] (menor que 10%). Assim, é necessária mais investigação para melhorar o desempenho de deficientes motores com interfaces em ecrãs tácteis.

2. Qual a melhor área do ecrã para cada técnica?

Relativamente aos *Erros*, as áreas do ecrã não afectaram o desempenho dos utilizadores. No entanto, cantos e arestas permitem aos utilizadores seleccionar alvos de forma mais precisa e realizar gestos direccionais mais lineares. Isto sugere que, de facto, as barreiras do ecrã oferecem estabilidade física [Froelich07, Wobbrock03]. Ainda, quando se colocam alvos perto das arestas ou cantos tem de se ter atenção à selecção do tamanho e da técnica, devido às restrições físicas impostas pelo dispositivo. Embora ofereçam estabilidade, podem também restringir o movimento. Os resultados mostraram que cruzar alvos no centro do ecrã é mais fácil que cruzar alvos na aresta.

3. Qual a melhor técnica para a população alvo?

Neste estudo, o *Tapping* e o *Crossing* apresentaram-se como as técnicas mais eficazes. No entanto, levando em consideração as opiniões dos utilizadores, o *Tapping* leva ligeira vantagem, visto que 9 em 15 o seleccionaram como método preferido.

4. Qual a melhor técnica para cada área?

No centro do ecrã nenhuma técnica se mostrou mais eficaz que as restantes. Isto sugere que os utilizadores atingem eficácia semelhante com qualquer uma delas. No entanto, quando se permite *Gestos Direccionais*, apenas devem ser consideradas 4 direcções (Norte, Sul, Este e Oeste), visto que as diagonais são difíceis de atingir e o elevado número de opções restringe o ângulo atribuído a cada uma. Em relação aos cantos do ecrã, o *Tapping* e *Exiting* têm eficácia semelhante. Já em relação às arestas, o *Tapping* é uma opção mais adequada, visto que realizar gestos nesta área pode ser difícil para pessoas com dificuldades motoras.

5. Qual a melhor combinação técnica-tamanho-área?

Levando em consideração as respostas anteriores, e resumando todas as questões de investigação, podemos concluir que a melhor combinação será o uso de *Tapping*, no centro do ecrã com alvos de tamanho igual ou superior a 12 mm. Esta combinação foi a que mostrou melhores resultados na interacção de pessoas tetraplégicas com ecrãs tácteis. No entanto, aplicações específicas podem necessitar de medidas específicas. Quando esta combinação não for praticável, os resultados aqui apresentados dão espaço para alternativas.

6. CONCLUSÕES

As interfaces tácteis apresentaram-se como alternativas apelativas às tradicionais interfaces por botões, particularmente para aqueles que não detêm a força ou destreza necessária nos membros superiores [Myers02]. Ainda assim, estes dispositivos impõem novos desafios aos utilizadores, como por exemplo a ausência de estabilidade física, dificultando a selecção eficaz de alvos. Foram desenvolvidas algumas técnicas para melhorar o acesso a interfaces tácteis móveis para pessoas com deficiências motoras [Froehlich07, Wobbrock03]. No entanto, estas foram desenvolvidas sem bases empíricas nem caracterização das capacidades e necessidades dos utilizadores ao interagir com estes dispositivos. É necessário dar um passo atrás e perceber o que conseguem os utilizadores fazer e como.

Os nossos resultados indicam que os utilizadores beneficiam de um melhor conhecimento das suas capacidades e desafios, em particular considerando a técnica de interacção (*Tapping*, *Crossing*, *Exiting* ou *Gestos Direccionais*), tamanho (7, 12, ou 17 mm) e área do ecrã (centro, arestas, cantos, ou proximidade do utilizador).

O *Tapping* mostrou-se como uma técnica promissora quando comparada com métodos alternativos, como o *Crossing* ou os *Gestos Direccionais*. Para além de ser a técnica preferida, os utilizadores foram tão eficazes com esta técnica como com as restantes. Este resultado sugere que uma interface unificada pode ser desenvolvida em benefício de utilizadores com e sem deficiências motoras, com ajustes menores.

Em relação ao tamanho, os 12 mm mostraram-se como um bom diâmetro. No entanto, apenas três tamanhos foram estudados. É importante reconhecer a necessidade de investigação adicional para refinar o conjunto de tamanhos possíveis.

Relativamente a áreas do ecrã, os nossos resultados confirmam que arestas e cantos oferecem estabilidade física. No entanto, não melhoram a eficácia. Por outro lado, existe um efeito da distância do alvo ao utilizador, indicando que os utilizadores são mais eficazes a tocar o ecrã perto do suporte do seu braço. Com técnicas baseadas em gestos, este efeito esbate-se, sugerindo que os utilizadores conseguem adquirir alvos que estejam mais longe, com o apoio da superfície, ajustando o seu movimento.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os participantes deste estudo. O trabalho foi financiado pela FCT através do programa PIDDAC. Tiago Guerreiro e Hugo Nicolau foram apoiados pela FCT, através das bolsas SFRH/BD/28110/2006 e SFRH/BD/46748/2008, respectivamente.

8. REFERÊNCIAS

- [Froehlich07] Froehlich, et al. 2007. Barrier pointing: using physical edges to assist target acquisition on mobile device touch screens. In Proc. of ASSETS, 19-26.
- [Guerreiro10] Guerreiro, et al. 2010. Assessing mobile touch interfaces for tetraplegics. In Proc. of MHCI.
- [Lee09] Lee, S., and Zhai, S. 2009. The performance of touch screen soft buttons. In Proc of SIG CHI'09, 309-318.
- [Lin07] Lin, et al. 2007. How do people tap when walking? An empirical investigation of nomadic data entry. In International Journal of Human-Computer Studies. Elsevier, 65, 9, 759-769.
- [Mizobuchi05] Mizobuchi, et al. 2005. Mobile text entry: relationship between walking speed and text input task difficulty. In Proc. of MobileHCI, 122-128.
- [Myers02] Myers, et al. 2002. Using handhelds to help people with motor impairments. In Proc. of ASSETS, 89-96.
- [Parhi06] Parhi, et al. 2006. Target size study for one-handed thumb use on small touchscreen devices. In Proc. of MobileHCI'06, 203-210.
- [Park08] Park, et al. 2008. Touch key design for target selection on a mobile phone. In Proc. of Mobile HCI'08, 423-426.
- [Perry08] Perry, K., and Hourcade, J. 2008. Evaluating one handed thumb tapping on mobile touchscreen devices. In Proc. of Graphics Interface, 57-64.
- [Sears03] Sears, et al. 2003. When computers fade: Pervasive computing and situationally induced impairments and disabilities. In HCI Int'l. Lawrence Erlbaum Associates, 2, 1298-1302.
- [Soukoreff04] Soukoreff, R., and MacKenzie, I. 2004. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. In International Journal of Human-Computer Studies. Elsevier, 61, 6, 751-789.
- [Wobbrock08] Wobbrock, J., and Gajos, K.. 2008. Goal crossing with mice and trackballs for people with motor impairments: Performance, submovements, and design directions. In TACCESS, 1, 1, 1-37.
- [Wobbrock03] Wobbrock, et al. 2003. EdgeWrite: a stylus-based text entry method designed for high accuracy and stability of motion. In Proc. of UIST'03, 61-70.