

Concepção de uma Família de Gestos para Construção de Objetos Geométricos e sua Utilização em um Sistema de Geometria Interativa para Dispositivos Móveis: GeoTouch

Helena M. Reis, Seiji Isotani

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC)

Universidade de São Paulo (USP)

`helenamcd@icmc.usp.br`, `sisotani@icmc.usp.br`

Resumo: Tradicionalmente a interação com sistemas de Geometria Interativa (SGI) é baseada no modelo teclado-mouse onde as funcionalidades de construção de objetos geométricos são acessadas por um menu de ícones dispostos na interface do sistema. Se de um lado a literatura indica que este tipo de sistema oferece benefícios ao aprendizado de Geometria, de outro os estudos mais recentes sugerem que este modelo de interação tradicional possui uma grande curva de aprendizagem e é inadequado para desenvolver SGI que possam ser utilizados em dispositivos móveis com tela multitoque. Neste contexto, este trabalho possui três objetivos principais: (i) realizar estudos empíricos para identificar e evidenciar os problemas de curva de aprendizagem dos estudantes ao utilizarem um SGI; (ii) baseados nos resultados obtidos propor um novo modelo de interação para SGI por meio de uma família (dicionário) de gestos que viabilizam a construção e manipulação de objetos geométricos, sem a necessidade de acesso a um menu de ícones; (iii) por fim, para utilizar e validar o modelo e gestos propostos desenvolver um SGI para uso em dispositivos móveis, chamado GeoTouch. Para analisar o impacto dos resultados deste trabalho foram realizados testes de usabilidade com o Geotouch e sua comparação com os três SGI para dispositivos móveis disponíveis até o momento. Os resultados encontrados indicam que a interface do GeoTouch, que utiliza o modelo e a família gestos propostos, é mais fácil de aprender, possui menor número de problemas de usabilidade e o grau de severidade destes problemas são de baixa prioridade afetando minimamente o usuário.

1. Introdução

A partir da popularização dos computadores pessoais ao final da década de 1980, observa-se também o surgimento de uma miríade de sistemas computacionais voltados ao ensino e à aprendizagem. Dentre estes, apareceram os sistemas de Geometria Interativa (GI), que introduziram um novo paradigma para o aprendizado de Geometria. Com um sistema de GI, o aprendiz pode explorar as construções geométricas do tipo régua-e-compasso (e.g. pontos, retas, circunferências e etc) de maneira interativa e dinâmica (Roanes-Lozano et al., 2003; Kortenkamp et al., 2004).

O modelo de interação implementado na maioria dos sistemas de GI disponíveis até o momento é fortemente baseado no teclado-mouse e interfaces com menu de ícones representando os objetos geométricos ou operações sobre eles (Jackiw, 1995; Isotani & Brandão, 2008; Reis et al., 2013). Um exemplo de interface com dezenas de ícones para construção de objetos geométricos, comumente utilizado por sistemas de GI, é apresentado na Figura 1. De acordo com Schimpf e Spannagel (2011) apesar dos benefícios educacionais oferecidos pela GI, essa grande quantidade de ícones impõe uma

complexidade excessiva, dificultando a sua adoção e uso, principalmente por usuários leigos ou iniciantes. Um outro complicador adicional em interfaces com muitos ícones é a existência de ícones semelhantes, o que pode gerar dúvidas, causar erros de construção e, como consequência, desmotivar e frustrar o aprendiz durante seu processo de construção do conhecimento (Reis et al., 2012). Além disso, o modelo de interação baseado em ícones e acesso via teclado-mouse inviabiliza a criação e utilização da GI em dispositivos móveis com tela multitoque. Esse é um grande problema dado que os dispositivos móveis têm adquirido cada vez mais importância e espaço nos ambientes educacionais e no cotidiano das pessoas (Pedro et al., 2012).

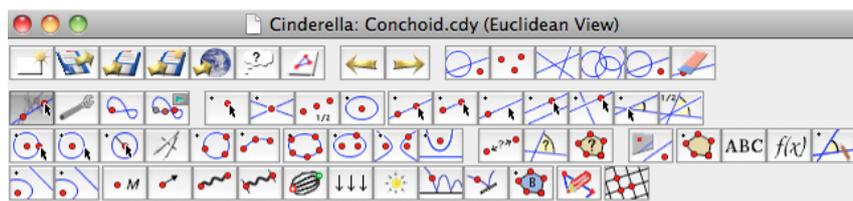


Figura 1. Exemplo de interface tradicional de sistemas de GI baseada em ícones.

Para mitigar os problemas do modelo atual de interação dos sistemas de GI (baseado em teclado-mouse e ícones na interface) é necessário compreender o impacto positivo/negativo do modelo atual e viabilizar a concepção de um novo modelo que (i) reduza possíveis problemas de curva de aprendizagem; (ii) não utilize o teclado-mouse e ícones na interface como entradas-padrão de dados; e (iii) viabilize a criação de interfaces que possam ser facilmente utilizadas em dispositivos móveis com tela multitoque.

Neste contexto, primeiramente este trabalho irá apresentar os estudos empíricos e de literatura realizados para identificar as dificuldades de interação (e.g. curva de aprendizagem) dos usuários com um sistema de GI tradicional. Também será evidenciada a lacuna de sistemas de GI disponíveis para dispositivos móveis com tela multitoque. Em seguida será proposto um modelo de interação baseado em gestos que permite a construção de objetos geométricos sem a necessidade de utilizar ícones. Para tanto, entrevistas com especialistas foram realizadas e uma família de gestos foi definida e sua descrição padronizada. Finalmente, será apresentado um novo sistema de GI, GeoTouch, para dispositivos móveis, cuja forma de interação está baseada no modelo proposto. Por meio de testes de usabilidade o GeoTouch foi avaliado mostrando-se ter maior usabilidade se comparado com outros sistemas de GI existentes.

2. Trabalhos relacionados

Para identificar de maneira sistemática os trabalhos relacionados com métodos de interação e interfaces para sistemas de GI, realizou-se um mapeamento sistemático cujos objetivos principais foram: (i) analisar quais tipos de interfaces (e formas de interação) vem sendo desenvolvidas para os softwares de GI; e (ii) destacar em quais dispositivos estas interfaces são comumente utilizadas. Esse mapeamento cobriu 998 artigos publicados pela comunidade em mais de 10 anos de pesquisa na área de geometria interativa. Dentre estes estudos 45 deles estavam, de alguma forma, relacionados com interação e interfaces de sistemas de GI. Contudo, apenas 20 deles apresentavam pesquisas na área alvo deste trabalho. A tabela disponibilizada no endereço <http://www.icmc.usp.br/e/2dacf> apresenta a lista dos estudos primários selecionados, com os campos: autor, título do artigo, tipo de pesquisa, e tipo de contribuição. Os resultados completos dos trabalhos relacionados identificados por meio do mapeamento sistemático foram publicados no SBIE e estão disponíveis em Reis et al. (2013).

Em síntese, a Figura 2 mostra a categorização dos trabalhos de acordo com as formas de interação (entrada e saída de dados) com as interfaces dos softwares de GI encontrada nos trabalhos analisados. É importante salientar que um trabalho pode ser classificado em mais de uma categoria. Observa-se que a maioria dos estudos encontrados preocupa-se em explorar a interação por meio do “Teclado e mouse”, sendo que outros tipos de interação, como “Baseada em toque” ou Háptica são ainda pouco exploradas.

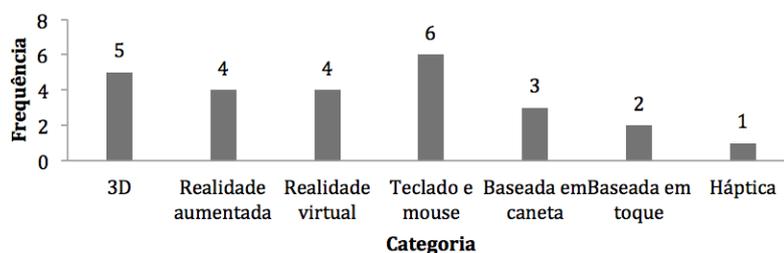


Figura 2. Trabalho relacionados categorizados de acordo com as formas de interação

Além disso, foram identificados também os diferentes tipos de dispositivos (*devices*) nos quais os softwares de GI são executados. A Figura 3 apresenta todos os tipos de dispositivos que foram utilizados nos trabalhos analisados. Observa-se que existem poucos softwares de GI desenvolvidos para outros dispositivos além dos computadores de mesa.

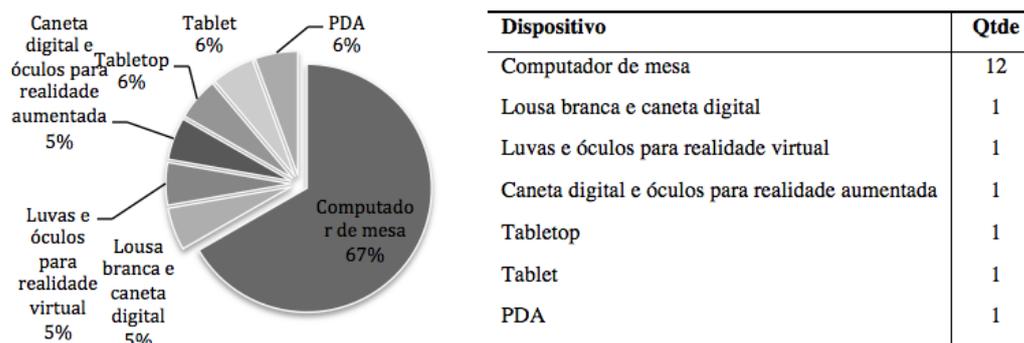


Figura 3. Trabalho relacionados categorizados por tipo de dispositivo utilizado

Por meio desta análise da literatura verificou-se a carência de pesquisas empíricas sobre (i) os benefícios (ou malefícios) oriundos da redução da quantidade de ícones nas interfaces dos sistemas de GI; (ii) modelos de interação para interfaces com tela multitoque; (iii) criação de sistemas de GI para dispositivos móveis. Destaca-se ainda, que os resultados deste mapeamento apresentam indícios de que poucos estudos foram realizados focando no uso de técnicas e metodologias de Interação Humano-Computador para o desenvolvimento de interfaces para softwares de GI. Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido para suprir as lacunas de pesquisa nos tópicos mencionados e serão descritos nas seções a seguir.

3. Impacto da Interface de Sistema de GI na Carga Cognitiva do Estudante

Alguns autores apontam que um elevado número de ícones em tela pode gerar ambiguidade e confusão por parte dos alunos (Shimpf & Spannagel, 2011). Isto pode ocorrer devido ao processo de aprendizagem exigir uma alta carga cognitiva, a qual é limitada e deveria ser direcionada para a compreensão dos conceitos matemáticos e não para o aprendizado da interface do sistema (Sedig e Liang 2006). A carga cognitiva refere-se às demandas colocadas na memória de trabalho do aluno durante a instrução. Este conceito é a base da **Teoria da Carga Cognitiva**, que foi fundamentada na década de 1980

pelo professor John Sweller (Sweller et al., 2011). Conceitualmente, a teoria da carga cognitiva é classificada em três tipos diferentes: carga cognitiva intrínseca, carga cognitiva estranha e carga cognitiva pertinente (Santos e Tarouco 2007). Conforme apresenta a Figura 4, para obter uma interface que auxilia a *aprendizagem eficiente* é necessário reduzir a carga estranha (ou irrelevante), dado que os alunos precisam determinar quais informações são relevantes e quais não são ocupando ou gastando memória para tal tarefa; e aumentar a carga pertinente (ou relevante) facilitando a visualização e orientação do aluno ao interagir com a interface (e.g. feedback de erro, dicas de uso, etc). A carga cognitiva intrínseca é imutável e depende da complexidade da tarefa.

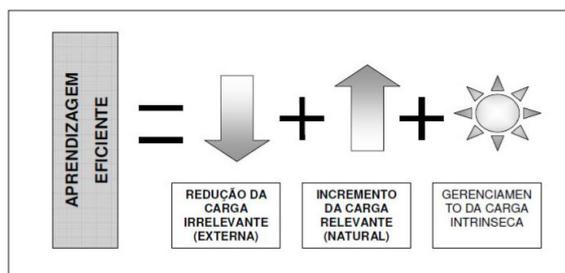


Figura 4. Modelo de Carga Cognitiva (Santos e Tarouco 2007).

Assim, para determinar o impacto das interfaces com dezenas de botões dos sistemas de GI tradicionais (Figura 1), este trabalho realizou 2 experimentos controlados. Foi investigado se a *redução de ícones na interface (mantendo as mesmas funcionalidades) de um sistema de GI traria reduções na carga cognitiva necessária para realizar as atividades, mas sem perdas na performance do aluno*. Ambos os experimentos seguiram o mesmo procedimento conforme a Figura 5. Alguns dos materiais utilizados nas etapas do experimento estão disponíveis no link: <http://www.icmc.usp.br/e/a94fc>. A etapa de pré-teste verificou o nível de conhecimento geométrico dos alunos. A de Intervenção dividiu os alunos em grupos: experimental e de controle, onde o grupo experimental utilizou uma interface reduzida (com poucos ícones) para aprender a realizar construções geométricas enquanto que o de controle utilizou a interface convencional dos programas de GI. Em seguida foi realizado o pós-teste para verificar o grau de aprendizagem e também passado um questionário de usabilidade. Por fim, um teste de memorização/retenção foi realizado para averiguar o quanto de conhecimento o aluno reteve após duas semanas terem sido passadas desde a intervenção.



Figura 5. Etapas dos Experimentos

O primeiro experimento contou com 7 alunos de pós-graduação em computação e constatou-se uma influência positiva sobre o uso da interface reduzida (i.e. menor número de ícones na interface) por usuários iniciantes reduzindo a sobrecarga na carga cognitiva, contudo alguns resultados mostraram-se inclusivos. Assim, o segundo experimento foi realizado com 69 alunos de graduação em computação. Por meio da análise dos dados verificou-se diferenças estatisticamente significantes no uso da interface reduzida para usuários iniciantes. Ou seja, usuários iniciantes têm maior performance e produtividade para realizar atividades de construção de objetos geométricos quando utilizam a interface de GI com menor quantidade de ícones (i.e. redução da carga estranha ou irrelevante). A descrição aprofundada do experimento e das análises, juntamente com os resultados obtidos por estes trabalhos, estão disponíveis nas publicações realizadas em Reis et al. (2012), Borges et al. (2013) e Borges et al. (2015).

4. Definição de uma Família de Gestos de Interação com Sistemas de GI

A partir dos resultados obtidos nos trabalhos anteriores e sucintamente apresentados nas seções 2 e 3, verificou-se a necessidade de propor um novo modelo de interação para sistemas de GI e a proposição de um sistema de GI para dispositivos móveis. Para isso, neste trabalho, realizou-se entrevistas com especialistas da área de matemática, a fim de investigar quais atividades são realizadas dentro do ambiente de ensino para apoiar a aprendizagem de geometria utilizando um software de GI. Nesta fase, quatro professoras com doutorado em Educação Matemática com mais de 20 anos de atuação profissional foram entrevistadas individualmente durante o período de aproximadamente uma hora.

Os dados das entrevistas foram transcritos e tabulados para auxiliar na definição tanto da família de gestos para construção de objetos geométricos quanto dos requisitos de um sistema de GI para dispositivos móveis. Em particular, as entrevistas apontaram que *o aprendizado dos conceitos geométricos pode ser dificultado se os gestos criados não tiverem relação com as propriedades geométricas dos objetos* corroborando com as ponderações feitas por Vitale et al. (2014). Por exemplo, se uma circunferência for desenhada com o gesto de um círculo, o aluno não vai associar que toda circunferência possui um raio de tamanho r e que todos os pontos desta circunferência estão à distância r do seu centro (ou seja, são equidistantes do centro), gerando problemas conceituais que podem afetar a aprendizagem. Para amenizar este problema, é importante a significância de cada gesto realizado, ou seja, que os conceitos matemáticos subjacentes à construção sejam utilizados para definir um gesto. Além dos benefícios pedagógicos que esta abordagem oferece, também existem vantagens relacionadas ao desenvolvimento de uma interface de GI, pois o estudante pode aplicar o conhecimento prévio sobre geometria para interagir com o software e realizar suas ações.

Com base nas funcionalidades e requisitos identificados, foi elaborado um dicionário de gestos para realizar a construção de objetos geométricos e interagir com o sistema. O dicionário de gestos é composto pela descrição textual do objeto, sua relação com os conceitos geométricos (caso exista) e um conjunto de figuras ilustrativas que apresentam como realizar os gestos em uma interface baseada em tela multitoque. Inicialmente foram gerados múltiplos gestos para atender uma mesma funcionalidade ou requisito e, após múltiplas prototipações e interações com usuários, foram definidas três categorias de gestos para sistematizar a forma de como interagir com o sistema e permitir um alto grau de flexibilidade e extensibilidade. Estas categorias são apresentadas a seguir:

- **Gestos do Núcleo (ou Gesto Base):** gestos principais do *software* e que são a base para a definição dos gestos de outras categorias;
- **Gestos de Navegação:** gestos para a navegação no *software*, os quais agrupam gestos relacionados à manipulação/edição de objetos geométricos;
- **Gestos Básicos de Construção:** gestos que combinam gestos de núcleo e são usados para a construção dos objetos geométricos simples.

A descrição e representação sucinta de alguns gestos está disponível na Figura 6. Maiores detalhes sobre a definição do dicionário de gestos está disponível no endereço <http://www.icmc.usp.br/e/f92e5>.

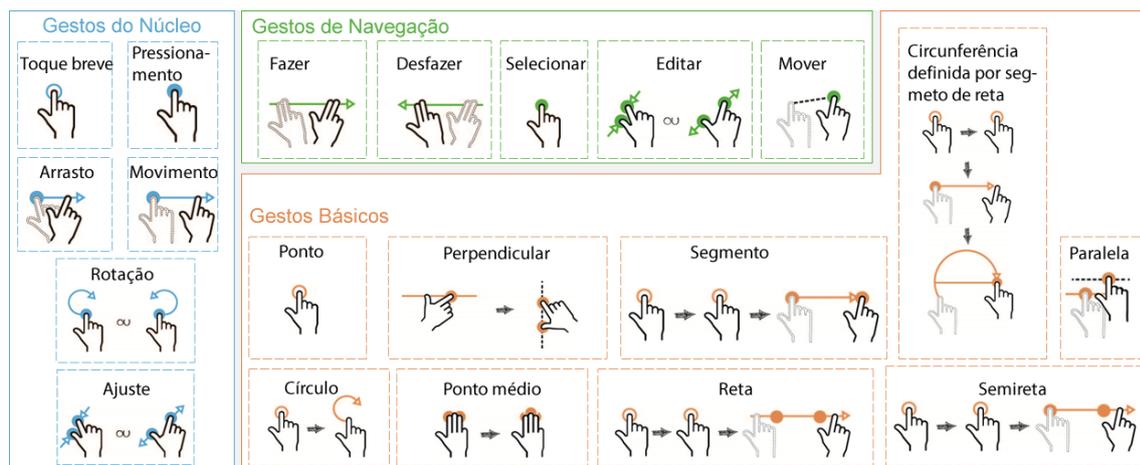


Figura 6. Família de Gestos para Interação com Sistemas de GI

5. GeoTouch: Sistema de GI para Dispositivos Móveis com Tela Multitoque

Utilizando este dicionário de gestos desenvolvido neste trabalho, foi proposta a criação de um sistema de Geometria Interativa para dispositivos móveis com tela multitoque, chamado de GeoTouch. A versão inicial foi desenvolvida na plataforma Android versão 4.0 e pode ser executada em dispositivos móveis, como *tablets* de 7 e 10 polegadas ou *smartphones*. Atualmente, o GeoTouch está disponível gratuitamente na loja virtual de aplicativos da Google (o Google Play) e pode ser acessado por meio do link: <http://www.icmc.usp.br/e/6d9e9>.

O Geotouch possui todas as funcionalidades que envolvem construções básicas de objetos geométricos para o ensino da geometria euclidiana. Além da construção destes objetos, também é possível a sua manipulação (e.g. movimentação de um objeto) e edição (e.g. aumentar o tamanho de uma reta ou circunferência). Outras funcionalidades elementares também foram desenvolvidas (e.g. Novo, Abrir, Salvar, Exibir Eixo Cartesiano, Medir Distância). Um vídeo ilustrativo do uso do GeoTouch está disponível a partir do link: <http://www.icmc.usp.br/e/32feb>.

O trabalho aqui realizado resultou em duas publicações em eventos internacionais: Isotani et al. (2014) e Reis et al. (2015).

5.1 Prova de conceitos

Com o objetivo de comparar a forma de interação proposta para construção de objetivos geométricos por meio de gestos definidos na seção 4 com o formato padrão de interação utilizado por outros softwares de GI, foi realizada uma prova de conceitos. Além disso, um outro objetivo foi também verificar problemas de usabilidade com o software de GI desenvolvido, GeoTouch.

A técnica selecionada para a prova de conceitos foi a análise de usabilidade utilizando a avaliação heurística definida por Nielsen (1993). Nielsen define o critério de usabilidade como um conjunto de fatores que qualificam quão bem uma pessoa pode interagir com um sistema computacional. Tais critérios¹ possuem o objetivo de encontrar problemas de

¹ As dez heurísticas propostas por Nielsen (1993) são: (H01) Visibilidade do status do sistema; (H02) Correspondência entre o sistema e o mundo real; (H03) Controle do usuário e liberdade; (H04) Consistência e padrões; (H05) Prevenção de erros; (H06) Reconhecimento em vez de lembrança; (H07) Flexibilidade e eficiência de uso; (H08) Estética e design minimalista; (H09) Ajuda para usuário identificar, diagnosticar e corrigir erros; (H10) Ajuda e documentação

usabilidade, o que ajuda na avaliação da interação da interface do sistema com o usuário e na construção de soluções para o desenvolvimento de melhores interfaces e interações homem-máquina (Baker et al., 2001; Nielsen, 1993).

Dessa forma, o Geotouch foi analisado conjuntamente com os três softwares de GI mais relevantes disponíveis para dispositivos móveis: GeometryPad, GeoGebra e Sketchometry. Destes, tanto o GeometryPad quanto o GeoGebra são cópias das suas versões para computadores de mesa (*desktops*) com interfaces baseadas em dezenas de ícones na tela.

Para conduzir a avaliação heurística foram convidados cinco pesquisadores com pelo menos dois anos de experiência nas áreas de engenharia de software, usabilidade e técnicas de avaliação heurística. Cada um destes pesquisadores avaliou cada *software* por pelo menos duas horas, totalizando mais quarenta horas de avaliação. Toda a atividade de avaliação foi acompanhada por pelo menos um dos autores deste trabalho e anotações referentes as dificuldades de interação foram realizadas. Para realizar os testes dos softwares utilizou-se como *hardware* um *tablet* de 7 polegadas executando o sistema operacional Android. Também foi utilizado um computador, para que os avaliadores pudessem responder um questionário para apontar os problemas de usabilidade e, um guia impresso contendo uma lista de atividades a serem exploradas nos ambientes, esta lista está disponível em <http://www.icmc.usp.br/e/8be81>.

O teste foi realizado em quatro fases. A primeira fase consistiu na leitura e compreensão das dez heurísticas pelos avaliadores. Depois da leitura, os avaliadores realizaram a segunda fase, que consistiu em executar um conjunto de 38 atividades pré-definidas e disponibilizadas como um guia estruturante. Neste guia, cada avaliador teve como tarefa aplicar as dez heurísticas de usabilidade para cada item da lista de atividades. Na terceira fase foi solicitado que os avaliadores resolvessem uma lista de exercícios relacionados a construção geométrica de nível básico e intermediário. Por fim, na quarta fase o avaliador preencheu o formulário sobre as heurísticas de usabilidade, de acordo com o grau de severidade do problema conforme proposto por Nielsen (1993).

5.2 Resultados e Discussão

Para oferecer uma visão geral dos resultados obtidos, apresenta-se a Figura 7 que destaca a frequência de problemas encontrados em cada uma das heurísticas avaliadas e para cada um dos softwares avaliados. No eixo x, é mostrado a abreviação das heurísticas. No eixo y, é mostrado a quantidade de vezes que o problema foi encontrado.

Na Figura 7, é possível observar que o GeoTouch foi o sistema com menor número de erros/problemas de usabilidade segundo os especialistas. E o GeoGebra foi o sistema que apresentou o maior número de erros/problemas. É possível verificar também que nenhum dos quatro softwares apresentaram problemas relacionados a consistência e padrões (H04). Isso mostra uma certa maturidade dos softwares analisados uma vez que todos eles são versões adaptadas de softwares de geometria interativa desenvolvidos para computadores de mesa. Entretanto, em todos os softwares avaliados, foram encontrados números consideráveis de problemas nas heurísticas H05: problemas relacionados à prevenção de erros; H06: reconhecimento em vez de lembrança; e H07: flexibilidade e eficiência de uso.

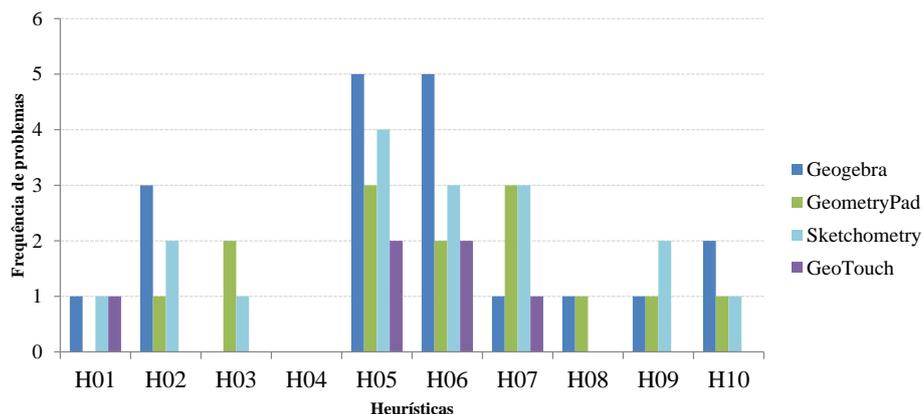


Figura 7. Frequência de problemas encontrados por heurística e por sistema avaliado.

Para medir o quanto estes problemas podem afetar a usabilidade de cada software também foi analisado o grau de severidade de cada problema (Nielse, 1993). A Figura 8 apresenta os gráficos que destacam os graus de severidade atribuídos aos problemas identificados pelos especialistas em cada heurística e para cada software. Estes gráficos são apresentados como polígonos de 10 lados em forma de teia de aranha onde cada vértice representa um dos critérios de usabilidade. O grau de severidade para cada critério é indicado fazendo o preenchimento do polígono (de dentro para fora). Segundo Nielsen o grau de severidade pode ser dividido em quatro categorias (Nielsen, 1993): 0 - Não concordo que seja um problema de usabilidade (0% de severidade); 1 - **Cosmético**: problema superficial, que precisa ser somente quando houver tempo e dinheiro (25% de severidade); 2 - **Leve**: problema de usabilidade pequeno, que possui baixa prioridade para ser solucionado (50% de severidade); 3 - **Sério**: problema de usabilidade severo, que possui prioridade e deve ser corrigido assim que possível (75% de severidade) e; 4 - **Crítico**: possui prioridade máxima e precisa de intervenção imediata por impedir que os usuários utilizem apropriadamente a interface (100% de severidade). Assim, caso o grau de severidade do critério H01 seja leve, preenche-se 25% deste vértice.

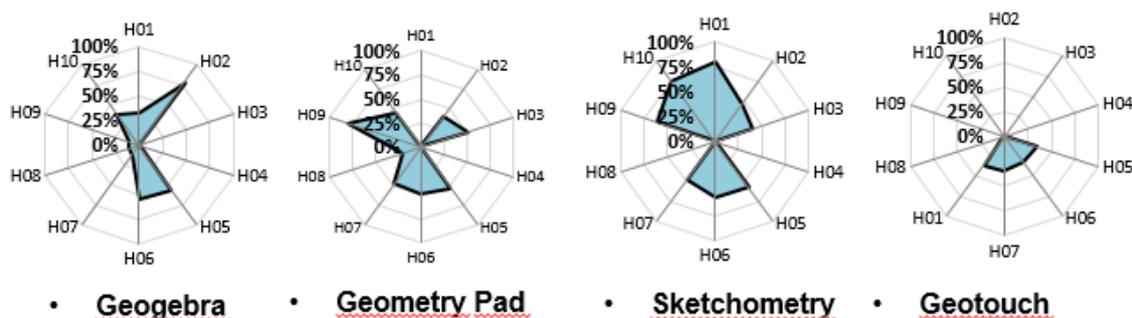


Figura 8. Grau de severidade dos problemas encontrados em cada heurística.

Sobre o Geogebra, é possível notar que a H02 (correspondência entre o sistema e o mundo real) tem maior grau de severidade (corresponde aproximadamente 75% de severidade na heurística H02), se comparado com os demais problemas. Isto indica que este problema é sério e precisa de atenção imediata. Os problemas classificados nas heurísticas H05 (prevenção de erros) e H06 (reconhecimento em vez de lembrança) estão relacionadas com o segundo maior grau de severidade (aproximadamente 50%) e precisam ser analisados em futuras versões do software. No Geometry Pad, observa-se que a heurística relacionada com a ajuda para identificar, diagnosticar e corrigir erros (H09) possui problemas com maior severidade, apresentando aproximadamente 75% de grau de

severidade da H09 e, portanto, a sua solução é considerada emergencial. As heurísticas relacionadas a controle do usuário e liberdade (H03), prevenção de erros (H05), reconhecimento em vez de lembrança (H06), flexibilidade e eficiência de uso (H07) e (H10) ajuda e documentação apresentaram aproximadamente 50% de severidade e necessitam de atenção. É importante salientar que apesar da frequência de erros neste sistema ser menor que o do GeoGebra (Figura 7), o grau de severidade destes erros são maiores (Figura 8) indicando que os avaliadores tiveram mais dificuldade de interação ao realizar as tarefas propostas. No Sketchometry, a heurística relacionadas a visibilidade do status do sistema (H01) e ajuda e documentação (H10) apresentaram alto grau de severidade, correspondendo aproximadamente 75%. Em seguida, as heurísticas relacionadas a correspondência entre o sistema e o mundo real (H02), prevenção de erros (H05), reconhecimento em vez de lembrança (H06), flexibilidade e eficiência de uso (H07) e ajuda para identificar, diagnosticar e corrigir erros (H09) apresentaram grau de severidade aproximadamente 50%. Apesar deste sistema apresentar uma menor frequência de erros se comparado ao Geogebra e o Geometry Pad, a maioria deles possui alto grau de severidade e que pode afetar seu uso e adoção por usuários iniciantes.

Por fim, no Geotouch foram encontrados somente problemas relacionados a visibilidade do status do sistema (H01), prevenção de erros (H05), reconhecimento em vez de lembrança (H06) e flexibilidade e eficiência de uso (H07). Todos os problemas foram classificados como cosmético ou de severidade leve (entre 25% a 50% de severidade). Os resultados obtidos indicam que o Geotouch possui a **menor frequência de erros** e o **menor grau de severidade** destes erros dentre os sistemas avaliados. Estes resultados foram publicados em Reis et al. (2014).

6. Conclusões

O presente trabalho teve como principal objetivo a proposição de um novo modelo de interação e interface para sistemas de GI. Para tanto, realizou-se estudos empíricos que evidenciaram os problemas dos alunos iniciantes ao utilizarem sistemas de GI tradicionais. Com estes resultados foi proposto um modelo de interação para sistemas de GI baseado em um dicionário de gestos tanto para construção de objetos geométricos quanto para a realização de ações de edição e manipulação sobre os objetos construídos em tela. Ressalta-se que até o momento esta é a única iniciativa de propor um modelo de descrição e padronização de gestos para facilitar o desenvolvimento de interfaces para sistemas de GI.

A partir da definição do dicionário de gestos foi desenvolvido o GeoTouch, um software de GI que implementa todas as funcionalidades básicas para construção de objetos geométricos e que pode ser utilizado em dispositivos móveis com tela multitoque. Um teste de usabilidade comparando o GeoTouch com os três sistemas de GI mais relevantes e disponíveis para dispositivos móveis demonstrou que o método de interação implementado causa menos erros e com menor severidade ao realizar atividades de aprendizagem de geometria por meio de construções geométricas. Acredita-se que o o dicionário de gestos e o próprio GeoTouch possam se tornar referência na área não apenas pelos recursos de software, mas também pelo fato de todo o desenvolvimento dos gestos estar fortemente relacionando aos conceitos geométricos subjacentes à construção dos objetos geométricos.

Por fim ressalta-se que os resultados desta pesquisa geraram sete artigos científicos e um protótipo disponíveis em <http://www.icmc.usp.br/e/c9a7f>.

Referências

- Baker, K.; Greenberg, S.; Gutwin, C. (2001). Heuristic Evaluation of Groupware Based on the Mechanics of Collaboration. In: Proceedings of the IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction, 123–140.
- Borges, S. S. ; Reis, H. M. ; Moro, L. F. ; Durelli, V. H. S. ; Isotani S. (2013) . Agrupamento Balanceado de Sujeitos a fim de Testar a Interface Gráfica de um Software de Geometria Interativa. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação, v. 11, p. 1-10.
- Borges, S.; Reis, H. M. ; Durelli, V. H. S.; Bittencourt, I., Jaques P.; Isotani, S. (2015) Reduced GUI for Interactive Geometry Software: Does It Affect Students' Performance?. In Computers in Human Behavior (aceito).
- Isotani, S.; Brandão, L. O. (2008). An algorithm for automatic checking of exercises in a dynamic geometry system: iGeom. Computers and Education 51(3), 1283-1303.
- Isotani, S.; Pedro, L. Z. ; Reis, H. M. ; Borges, S. S. ; Lopes, A. M. Z. ; Souza, J. P. T. ; Brandão, A. A. F. ; Brandão, L. O. . Interactive Geometry Goes Mobile with GeoTouch. In Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. p. 181-5.
- Jackiw, N. (1995). The Geometer's Sketchpad v3.0. Berkeley: Key Curriculum Press.
- Kortenkamp, U.; and Richter-Gebert, J. (2004) Using automatic theorem proving to improve the usability of geometry software. Proceedings of the Mathematical User-Interfaces Workshop. Available at: <http://kortenkamps.net/papers/2004/ATP-UI-article.pdf>
- Nielsen, J(1993). Usability Engineering. Boston: Academic Press Professional.
- Pedro, L. Z. ; Borges, S. S. ; Lopes, A. M. Z. ; Souza, J. P. T. ; Brandão, A. A. F. ; Brandão, L. O. ; Isotani, S. (2012) Projeto e Desenvolvimento de um Aplicativo de Geometria Interativa para Dispositivos Móveis. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, p. 1-10.
- Reis, H. M. ; Borges, S. S. ; et al (2012). Towards Reducing Cognitive Load and Enhancing Usability Through a Reduced Graphical User Interface for a Dynamic Geometry System. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Multimedia, p. 445-450.
- Reis, H. M.; Borges; S.; Isotani, S. (2013). Interação em interfaces de softwares de geometria interativa: Um mapeamento sistemático. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), páginas 1–10.
- Reis, H. M. ; Borges, S. S. ; Isotani, S. (2014) . Análise de Usabilidade de Sistemas de Geometria Interativa para Tablets. RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação, 12(1), 1-10.
- Reis, H. M.; Gasparini, I.; Mizoguchi, R.; Isotani, S. (2015) A Dictionary of Gestures for Multitouch-based Interactive Geometry Software. In Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (aceito).
- Roanes-Lozano, E.; Roanes-Macías, E.; Villar-Mena, M. (2003). A Bridge Between Dynamic Geometry And Computer Algebra. Mathematical And Computer Modelling, 37(9-10), 1005–1028.
- Santos, L.M.A., & Tarouco, L.M.R. (2007). A importância do estudo da teoria da carga cognitiva em uma educação tecnológica. Revista Novas Tecnologias na Educação, 5(1), 1-11
- Sedig, K.; Liang, H-N. (2006), Interactivity of Visual Mathematical Representations: Factors Affecting Learning and Cognitive Processes. In Journal of Interactive Learning Research, Vol. 17 No. 2, pp. 179–212.
- Schimpf, F.; Spannagel, C. (2011). Reducing The Graphical User Interface Of A Dynamic Geometry System. ZDM, 43(3), 389–397.
- Sweller, J.; Ayres, P. ; Kalyuga, S. (2011). Cognitive Load Theory, Springer.
- Vitale, J. M.; Swart, M. I.; Black, J. B. (2014). Integrating Intuitive And Novel Grounded Concepts In A Dynamic Geometry Learning Environment. Computers and Education, 72(March),231–248.