

Uma Abordagem Sistemática de Prototipação Colaborativa para a Criação de Tangíveis

Débora Cardador
 Depto. Informática PUC-Rio
 Rua Marquês de São Vicente, 225
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521)3527-1500 r.4553
 dcosta@inf.puc-rio.br

Wallace Ugulino
 Depto. Informática PUC-Rio
 Rua Marquês de São Vicente, 225
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521)3527-1500 r.4553
 wugulino@inf.puc-rio.br

Katia Vega
 Depto. Informática PUC-Rio
 Rua Marquês de São Vicente, 225
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521)3527-1500 r.4553
 kvega@inf.puc-rio.br

Denise Filippo
 ESDI/UERJ
 Rua Evaristo da Veiga, 95
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521) 2332-6910
 dfilippo@esdi.uerj.br

Alberto Raposo
 Depto. Informática PUC-Rio
 Rua Marquês de São Vicente, 225
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521)3527-1500 r.4338
 abraposo@inf.puc-rio.br

Hugo Fuks
 Depto. Informática PUC-Rio
 Rua Marquês de São Vicente, 225
 Rio de Janeiro, Brasil
 (+5521)3527-1500 r.4304
 hugo@inf.puc-rio.br

ABSTRACT

This article introduces a systematic collaborative prototyping approach for creating tangibles. The approach was applied to four editions of an introductory engineering course for freshmen. In each course edition, the students worked as groups for developing tangibles for a pre-defined game resulting in 22 different high-fidelity prototypes. The case study findings indicate that this is a motivational approach and it instigates creativity in creating tangibles.

Categories and Subject Descriptors

K.3.1 [Computers and Education]: Computer Uses in Education - *Collaborative learning*.

H.5.2 [Information Interfaces and Presentation]: User Interfaces - *Prototyping*

General Terms

Design. Human Factors.

Keywords

Prototyping; Collaboration; Tangible User Interfaces; Wearable Computers.

1. INTRODUÇÃO

Nas décadas de 80 e 90, as interfaces de usuário evoluíram de interpretadores de comandos – paradigma “*remember and type*” – com interação via teclado em terminais de computador, para interfaces gráficas de usuários – paradigma “*see, point and click*” – nas quais uma metáfora do mundo o mundo real é representada por meio de elementos gráficos para apoiar o uso dos sistemas. Muito conhecimento foi gerado sobre o projeto de

interfaces gráficas, como métodos para avaliação e heurísticas para usabilidade [1-4]. Recentemente, com a incorporação de recursos computacionais aos elementos físicos, a computação evoluiu para a ubiquidade (ou pervasividade) e está presente nos elementos do ambiente físico [5]. Essas novas interfaces representam um novo paradigma de interação, ainda pouco conhecido e explorado, como, por exemplo, as interfaces tangíveis (Tangible User Interfaces - TUIs). Estas têm como diferencial a exploração do potencial que as pessoas têm para sentir e manipular o ambiente físico [6], diferentemente das interfaces gráficas [7].

Atualmente, menos de 1% dos 9 bilhões de *chips* fabricados por ano são usados em computadores do tipo desktop [8]; os 99% restantes são destinados a sistemas embarcados em aparelhos eletrônicos, veículos, brinquedos, roupas, acessórios, dispositivos móveis – como *tablets* e *smartphones* –, etc. Casas, móveis, e objetos do dia-a-dia, isto é, o ambiente que nos cerca, são as novas interfaces com as quais as pessoas interagem para colaborar e se informar. O design de interfaces não é mais exclusivamente gráfico, mas também envolve forma e materiais. Assim, características como ergonomia, peso, textura e outros aspectos ligados a materiais físicos compõem novas dimensões para projeto e avaliação de interfaces. Desenvolver interfaces tangíveis requer combinar o trabalho voltado para o concreto (forma) com a abstração característica do desenvolvimento de software (comportamento).

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) oferece há dois anos a disciplina de Introdução à Engenharia de Computação, com uma abordagem pedagógica voltada para a prática, no qual calouros desenvolvem um jogo com tangíveis por meio da prototipação colaborativa. O uso da prototipação tem o objetivo de proporcionar ao aluno uma aprendizagem significativa por meio do fazer, além de promover a colaboração aluno-aluno e professor-aluno. Além de proporcionar uma experiência rica em oportunidades para a aprendizagem de programação, prototipar também instrumentaliza os alunos para trabalhar em empresas inovadoras, uma vez que, segundo Schrage [9], “mais do que

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. SBSC 2013 Brazilian Symposium on Collaborative Systems. October 8-11, 2013. Manaus, AM, Brazil. Copyright 2013 SBC. ISSN 2318-4132 (pendrive).

simples modelos, protótipos são indicadores da cultura de uma empresa e de sua habilidade de inovar”.

Nossa estratégia de ensino inclui uma abordagem sistematizada para a criação de tangíveis, intitulada Prototipação Colaborativa, que resulta em um protótipo de alta fidelidade, dá suporte à geração de novas ideias, e é motivadora, tendo em vista que motivação e diversão estão diretamente relacionadas à capacidade de realização [10]. A prototipação no estágio inicial de desenvolvimento reduz a chance de “*poor designs*” [11] e auxilia na obtenção de *feedback* dos usuários e desenvolvedores nas etapas iniciais do desenvolvimento do tangível [12]. A colaboração é especialmente indicada para a resolução de problemas complexos que requerem a ação de indivíduos com diferentes habilidades [13]. Além da combinação de competências, o trabalho em grupo possibilita a divisão de tarefas, diminuindo a carga de trabalho individual e paralelizando a realização das atividades.

Para investigar a adequação desta proposta, descrita na Seção 3, foi conduzido um estudo que enfoca a motivação dos participantes e a inovação dos tangíveis criados, realizado em quatro etapas, com duração total de 20 meses e 81 alunos. Em cada uma destas etapas, detalhadas na Seção 4, os alunos foram divididos em grupos e orientados a desenvolver a interface de um jogo previamente definido, seguindo a abordagem proposta. Os resultados obtidos na pesquisa são discutidos na Seção 5. Conclusão e trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Abordagem baseadas em prototipação são empregadas na construção de interfaces, como, por exemplo, Paper Prototyping [14-15], usado no desenvolvimento de interfaces gráficas (GUIs) e dispositivos móveis [12]. Algumas abordagens para a prototipação de tangíveis são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Prototipação de tangíveis

Prototipação	Exemplo
Prototipação de Baixa Fidelidade	Blank Model Prototyping [12]
	Theatrical Sketches [16]
Prototipação com <i>toolkit</i>	Phidget [17]
	Sketch-a-TUI [11]
	Paperbox [18]
	Surflex [19]
	DisplayObjects [20]
	WUI-Toolkit [21]
Prototipação de Alta Fidelidade	SandScape [22]
	ColorTable [23]
	Rope Revolution [24]

Os exemplos de protótipo de alta fidelidade (apresentados na Tabela 1) seguem os passos definidos no Ciclo de Vida da Prototipação (Figura 1) e enfocam aspectos diversos do desenvolvimento de tangíveis e novas formas de interação, em alguns casos com o uso de “novos” materiais, como areia [22] e corda [24].



Figura 1. Ciclo de Vida da Prototipação.

A prototipação com *toolkits* resulta em protótipos de média fidelidade. Os *toolkits*, em geral, são de uso relativamente simples e de baixo custo. Este tipo de prototipação é parte de pesquisas em andamento e os *toolkits* ainda não se encontram disponíveis para uso em escala, como em uma sala de aula.

Métodos como a Prototipação Blank Model [12] são usados para a obtenção de protótipos de baixa fidelidade, nos quais o foco é a forma. Estes métodos usam a dramatização para simular o comportamento do protótipo. Gerber e Carool [25] enfatizam a importância deste tipo de método para o aprendizado e afirmam que “a rápida produção e visualização de múltiplas ideias por meio da prototipação de baixa fidelidade possibilita reformular o fracasso como uma oportunidade de aprendizado, dá senso de progresso e fortalece crenças sobre a capacidade criativa”.

Desde o crescimento de movimentos como o hardware de código aberto e *do-it-yourself*, pessoas com diferentes tipos de conhecimento estão tomando uma atitude pró-ativa em ciência e tecnologia, o que exige uma combinação de conhecimentos multidisciplinares para desenvolver eficiência tanto na forma como no comportamento. NET Gadgeteer [26], Arduino [27] e Raspberry Pi [28] são alguns exemplos de plataformas para o desenvolvimento de protótipos de alta fidelidade, que possibilitam a incorporação de comportamento à forma por meio de software embarcado. Plataformas de prototipação são usadas no contexto educacional [29-31] com o objetivo de “engajar” crianças (e adultos) em computação e eletrônica e ensinar as habilidades fundamentais nestas áreas” [27].

Nossa abordagem, intitulada Prototipação Colaborativa, lida tanto com a forma como o comportamento, resultando em um protótipo totalmente funcional com o uso da plataforma de prototipação Arduino. As próximas seções detalham a abordagem proposta e sua aplicação em sala de aula.

3. PROTOTIPAZÃO COLABORATIVA

A abordagem de prototipação colaborativa proposta neste trabalho é composta de três etapas: Prototipação Blank Model, Prototipação do Comportamento e Prototipação de Alta Fidelidade, como ilustrado na Figura 2. Cada etapa de prototipação resulta na aplicação do ciclo de prototipação (Figura 1), de acordo com as características específicas de cada etapa.

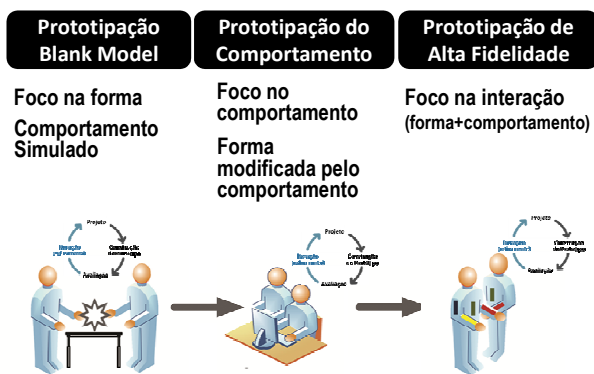


Figura 2. Etapas de prototipação.

O método usado na primeira etapa é a Prototipação Blank Model (BMP). Este é um método participativo de prototipação rápida que utiliza *role-playing* e materiais facilmente disponíveis na construção de representações rústicas de um conceito tecnológico, de acordo com um determinado cenário [32]. Seu objetivo é “coletar impressões e ideias de potenciais usuários sobre uma tecnologia de hardware ou software inexistente, incluindo funções requeridas, controles e necessidades de interação” [12]. Nesta etapa, consideram-se todas as funcionalidades esperadas, sem aprofundar o conhecimento sobre elas, o que é classificado como Prototipação Horizontal [33]. O foco do trabalho é na forma e suas funções, enquanto o comportamento é simulado para possibilitar uma investigação inicial sobre a adequação forma/comportamento. A prototipação é rápida, de modo a possibilitar vários ciclos de construção, discussão e avaliação em grupo. O protótipo desta primeira etapa precisa ser resistente apenas o suficiente para a simulação de uso e comportamento da interface por meio de dramatização.

Na segunda etapa, o objetivo é aprofundar o conhecimento sobre cada funcionalidade esperada. A cada iteração, os participantes selecionam uma funcionalidade e a investigam em profundidade (cada cenário de um jogo, por exemplo). Esse tipo de prototipação, que privilegia o entendimento de poucas funcionalidades por iteração, é classificado como Prototipação Vertical [33]. Ao conhecer melhor cada funcionalidade é comum que o aluno perceba inadequações entre a forma projetada na etapa anterior e o circuito lógico (hardware e software) projetado. Nesse caso, a forma é modificada para manter a exequibilidade do projeto.

Finalmente, na terceira etapa os alunos constroem um protótipo de alta fidelidade. Nesta etapa, o foco é testar a interação entre os potenciais usuários do produto. Forma e comportamento são igualmente considerados nessa etapa. O protótipo resultante deve ser mais resistente que os protótipos das etapas anteriores, pois será usado em testes com usuários e demonstrações.

4. PROTOTIPAGEM NA SALA DE AULA

A abordagem de prototipação colaborativa proposta foi aplicada em turmas compostas por estudantes calouros de Engenharia, a maioria de Computação. Os alunos são organizados em grupos de trabalho com quatro a cinco participantes. O desafio de cada grupo é projetar e construir um protótipo de alta fidelidade para um jogo colaborativo, que será utilizado por sua equipe em uma competição com as demais equipes de sua turma. No jogo, cada jogador da dupla tem um objeto ou *wearable* com quatro áreas de contato identificadas por quatro cores distintas: azul,

vermelho, verde e amarelo. A cada jogada, uma destas cores é sorteada e as duplas devem efetuar o contato entre as áreas desta cor antes que uma nova cor seja sorteada. Por exemplo, se a cor sorteada for vermelha, o jogador deve fazer o contato da área vermelha de seu objeto/*wearable* com a área vermelha do objeto/*wearable* de seu parceiro. O tempo para efetuar o contato da cor sorteada diminui à medida que o jogo avança, aumentando gradualmente o nível de dificuldade. Uma dupla é eliminada da competição se fizer um contato errado ou não fizer o contato dentro do tempo dado. Vence a dupla que completar todas as jogadas ou o maior número de jogadas sem erro. Neste jogo, os jogadores de uma dupla colaboram entre si e competem com as outras duplas.

O desenvolvimento do protótipo do jogo segue as três etapas descritas na Seção 3. Para ilustrar a evolução do processo de prototipação e os resultados obtidos, foram selecionados os trabalhos de dois grupos, detalhados a seguir.

4.1 Prototipação Blank Model

Nesta etapa, os alunos constroem uma representação de sua interface, usando materiais diversos como papel, tecido, cola e fita crepe. Esses materiais são suficientes para a dramatização – na qual o comportamento da interface é simulado – e o custo é muito inferior ao custo dos componentes usados no protótipo de alta fidelidade. Ao final desta etapa, os grupos produzem e apresentam um vídeo contendo sua proposta de interface para o jogo e a dramatização de uma sequência de jogadas. Esta dramatização corresponde à fase de teste do protótipo, que envolve além dos dois jogadores, um observador, responsável pelo registro das dificuldades observadas durante o teste, e um quarto participante, que simula a atuação do computador (comportamento). No projeto desse jogo, o quarto participante informa aos jogadores a cor sorteada em cada jogada e sinaliza a desclassificação de alguma dupla em caso de erro.

O Grupo A optou pela confecção de vestimentas inspiradas no popular jogo Mortal Kombat, posicionando as áreas coloridas nas coxas e nos punhos, de modo que o contato seja efetuado por meio de socos e chutes entre os jogadores. O Grupo B optou pelo uso de bastões como base da interface. Os integrantes comentaram que a escolha de uma luta de bastões torna o jogo “mais dinâmico e divertido”.

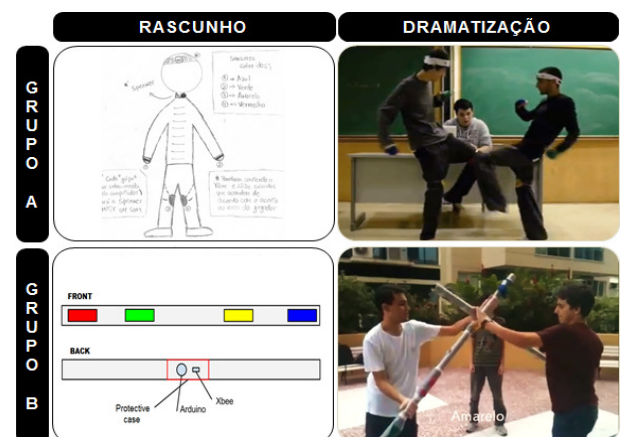


Figura 3. Protótipos dos grupos A e B.

4.2 Prototipação do Comportamento

A segunda etapa consiste na construção dos circuitos (*hardware*) e sua programação (*software*). Os circuitos são construídos usando componentes da plataforma *open-source* Arduino [34], materiais condutivos e componentes eletrônicos, como se observa no exemplo da Figura 4. A linguagem Arduino, baseada na linguagem C, é usada para programação.



Figura 4. Prototipação do Comportamento.

Nesta etapa, os grupos definem como o contato entre as cores será identificado pelo microcontrolador, considerando os seguintes cenários:

- i. Contato correto: ambos os jogadores fazem o contato com a cor correspondente à cor sorteada e dentro do tempo dado;
- ii. Contato incorreto: pelo menos um dos jogadores faz contato com a cor errada;
- iii. Ausência de contato: os jogadores não fazem contato dentro do tempo daquela jogada.

As soluções dadas pelos grupos para a identificação contato entre cores são variadas e se diferenciam, principalmente, pelo tipo de valores usados para leitura e escrita nas portas E/S do microcontrolador e pela forma como o circuito é fechado para a leitura destes valores. Os valores podem ser digitais (0/low ou 1/high) ou analógicos (inteiro entre 0 e 1023), que representam a tensão lida na porta, que varia entre 0V e 3.3V. O Grupo A optou por uma implementação com base em leitura de valores digitais e o Grupo B em valores analógicos:

- Grupo A: cada área de contato correspondente a uma cor possui dois pontos distintos com material condutivo, conectados à portas do microcontrolador. Quando ocorre o contato entre as cores, ou seja, entre a área que correspondente à cor de um jogador com a do outro jogador, os pontos com material condutivo contidos nestas áreas se conectam e o circuito é fechado, fazendo com que a porta de leitura do microcontrolador conectada àquela área identifique que houve contato para aquela cor. Nesta solução, ambas as interfaces utilizam microcontroladores com leitura e escrita de valores digitais.
- Grupo B: este grupo optou por uma solução baseada no uso de dispositivos eletrônicos denominados resistores, que causam queda de tensão em um circuito elétrico. Foram utilizados quatro diferentes resistores - um para cada cor. O circuito é construído de forma que para cada cor se tem um valor de tensão diferente ao se fechar o circuito. Quando há contato entre os bastões, o circuito é fechado e a tensão inicial é modificada pelo resistor. Com base no valor de tensão final lido, identifica-se qual das quatro cores do jogo fechou o circuito. Neste tipo de solução, é necessário o uso de apenas um microcontrolador para ambos os jogadores.

No jogo, o sorteio e a comunicação das cores sorteadas são feitos por um *software* executado num laptop. Este *software*, denominado Master, comunica-se com os microcontroladores por meio de módulos XBee [25], baseado no protocolo IEEE 802.15.4-2003 [35]. Os módulos são programados para formar

uma rede com topologia estrela definida de modo que os nós periféricos (jogadores) comuniquem-se exclusivamente com o nó central (Master).

Ao final desta etapa de prototipação, são realizados testes supervisionados com o objetivo de verificar se cada funcionalidade definida (contatos, *feedbacks*, comunicação *wireless* etc.) foi implementada corretamente. Como resultado, os grupos concluem a programação e o circuito que vão compor o protótipo de alta fidelidade da próxima etapa.

Um exemplo da mútua influência entre forma e comportamento é ilustrado pelos projetos dos grupos A e B, selecionados para discussão desta (segunda) etapa. Esses grupos decidiram modificar a interface definida na primeira etapa após o entendimento mais aprofundado obtido na segunda etapa. As mudanças são descritas – nas palavras dos participantes - a seguir:

- Grupo A: “Inicialmente, pensamos em colocar o XBee em uma bandana na testa, mas após construir o circuito, percebemos que seria necessário usar um fio longo para ligá-lo no microcontrolador e o jogador poderia ficar preso ou ter seus movimentos limitados por causa do fio. Por isso desistimos da bandana e decidimos colocar o XBee na blusa”.
- Grupo B: “Em função da solução adotada para identificação do contato, os bastões têm designs diferentes. Somente um dos bastões contém o microcontrolador e segue a proposta original do BMP”.

4.3 Prototipação de Alta Fidelidade

Nessa terceira e última etapa os grupos produzem um protótipo de alta fidelidade, a ser utilizado numa competição entre as duplas da turma. O processo de construção é influenciado pela escolha dos materiais usados na construção das interfaces e pela forma proposta pelo grupo, como ilustra a Figura 5.



Figura 5. Prototipação do Comportamento.

Nesta etapa, os grupos decidem sobre os materiais mais adequados a serem usados na competição e também definem mais detalhes de implementação do *hardware*, a partir do conhecimento acumulado nas etapas anteriores de prototipação. Algumas considerações dos Grupos A e B sobre a implementação de seus projetos são:

- Grupo A: “Devido à nossa programação, precisamos que ambos os contatos de cada cor se toquem por completo com os outros dois contatos da outra roupa. Assim, decidimos

elaborar formatos que facilitassem esse contato, [...] utilizamos formas triangulares nos punhos e, para estabelecer maior conexão com o tema de nosso projeto, contatos no formato do Ying Yang nas coxas.” (Figura 6).



Figura 6. Protótipo de Alta Fidelidade do Grupo A.

- Grupo B: “Os bastões foram construídos utilizando-se dois tubos de PVC recobertos por espuma. [...] No bastão onde se encontra o circuito, passaram-se duas longas tiras de cobre, uma delas ligada a uma porta de leitura analógica do Arduino. [...] No outro bastão, os resistores foram colocados e na parte frontal foram utilizadas fitas de cobre para o contato entre os bastões” (Figura 7).



Figura 7. Protótipo de Alta Fidelidade do Grupo B.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa pesquisa foi realizado um estudo de caso [36] durante 20 meses, dividido em quatro etapas de cinco meses. Os dados foram coletados por meio de questionários, entrevistas, observações diretas e documentos produzidos pelos participantes (relatórios de projeto e rascunhos). Os questionários foram aplicados no início e no final de cada etapa. As entrevistas foram roteirizadas e analisadas segundo o Método da Explicitação do Discurso Subjacente (MEDS) [37]. As observações diretas foram realizadas durante todo o curso e registradas por meio de vídeos, fotos e anotações feitas pelos observadores. Os resultados foram obtidos a partir da triangulação e encadeamento de evidências, usando duas ou mais fontes de dados.

Participaram do estudo 81 alunos calouros de cursos de engenharia durante quatro semestres, de 2011 a 2012. A maioria dos alunos é do curso de Engenharia da Computação (83%), com idade média de 18,9 anos ($\sigma=1,8$), sendo 87% do sexo masculino.

Os alunos, organizados em grupos de 4 a 5 membros, atuaram na concepção e implementação do protótipo de um jogo colaborativo, resultando em um total de 22 protótipos. O estudo conduzido investiga a motivação e a inovação de suas criações. Cada um destes aspectos é analisado de forma distinta.

5.1 Motivação

Motivação é definida como um processo interno que reflete o desejo de atingir um determinado objetivo. Uma forma de se entender a motivação é a perspectiva de motivação intrínseca e extrínseca [38-39]. Nesta perspectiva, a motivação varia em função de quão prazerosa é a atividade (motivação intrínseca) e os resultados percebidos de se engajar na tarefa (motivação extrínseca).

A análise da motivação dos participantes considera cada participante individualmente, e é baseada nos questionários, entrevistas e observações realizadas durante a pesquisa. Um dos aspectos analisados com relação à motivação é o quanto o desenvolvimento do protótipo do jogo em si foi prazeroso. A maioria dos alunos classificou esta atividade como prazerosa, como se observa no gráfico apresentado na Figura 8.

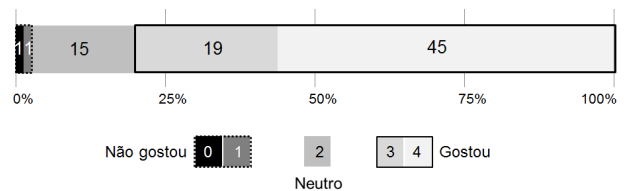


Figura 8. Avaliação do desenvolvimento do protótipo.

Dentre os aspectos positivos do curso citados se destaca a ênfase dada à prática proporcionada pela abordagem baseada em prototipação, mencionada por 69% dos alunos. A possibilidade de aprender de forma experimental, identificando os problemas com base nos erros observados e propondo soluções, foi um fator motivador para grande parte dos participantes.

Outro aspecto motivador destacado é o trabalho em grupo. Este foi indicado por 61% dos alunos como um fator positivo do curso e considerado por 21% deles como um de seus pontos fortes. A maioria dos participantes considerou o trabalho em grupo trabalhoso (84%), todavia divertido (65%) e agradável (52%). Este foi considerado um importante fator de apoio à aprendizagem (86%) e foi o item mais citado (49%) nas respostas para a pergunta “O que você leva dessa disciplina para sua vida profissional?”.

Para suporte ao trabalho em grupo, troca de informações e disponibilização de conteúdos [40], é adotada a plataforma Open Atrium [41]. Além deste recurso, os alunos usam outras tecnologias de informação, como redes sociais e sites de compartilhamento de vídeo, e dispositivos próprios como *smartphones* e *tablets* para o registro do trabalho desenvolvido (Figura 9). Sob o ponto de vista do Modelo de Colaboração 3C [13], a coordenação entre os membros do grupo foi pré-articulada em sala de aula, enquanto comunicação e cooperação foram além dos limites da sala, por meio do uso de recursos tecnológicos como redes sociais (95%), telefone (86%), e-mail (80%), *Short Message Service* (70%) e videoconferência (23%).



Figura 9. Exemplos de recursos usados pelos alunos.

Os resultados obtidos relativos à motivação evidenciam que a abordagem usada foi motivadora para os alunos, tanto com relação à prototipação, relacionada à parte prática do curso, quanto à colaboração envolvida no trabalho em grupo. A maioria dos alunos considerou o desenvolvimento dos protótipos uma atividade prazerosa (motivação intrínseca) e recompensadora (motivação extrínseca).

5.2 Inovação

Na literatura, inovação é mais frequentemente enfocada em contextos empresariais [42] e a criação de protótipos como uma forma de se promover a inovação em empresas visando um diferencial competitivo no mercado [9]. Nesse cenário, a inovação de um produto ocorre em consequência de modificações em produtos já existentes no mercado ou, quando mais radicais, na criação de um novo produto. Neste estudo, o contexto proposto não envolve a melhoria de produtos já existentes, mas a criação de interfaces tangíveis para o jogo proposto. Em função deste contexto, considera-se um aspecto de um protótipo inovador por meio de sua comparação com os demais protótipos, considerando diferentes níveis de inovação:

- (i) houve inovação no protótipo, quando esta é única entre os 22 protótipos analisados;
- (ii) houve inovação parcial, quando esta ocorre em frequência nos protótipos inspecionados; e
- (iii) não houve inovação no protótipo, caso contrário.

Esta comparação se baseia na inspeção dos protótipos funcionais por meio de observação direta e consulta a relatórios de trabalho e outros documentos elaborados pelos grupos. A inspeção dos protótipos enfocou os seguintes aspectos:

- Solução de contato: solução tecnológica adotada para a identificação do contato entre as áreas correspondentes às cores.
- Forma: base usada para a implementação do protótipo (peças de vestuário, acessórios, caixas, etc.) e a localização dos pontos de contato nesta base; e
- Materiais: materiais usados na construção do protótipo de alta fidelidade (tecido, madeira, plástico, etc.).

Mais da metade dos protótipos (55%) inovou em todos os aspectos considerados nesta análise (contato, forma e materiais). Dentre os 22 protótipos, apenas um não apresentou nenhuma inovação se comparado com os demais. Os aspectos forma e material foram os que apresentaram maior inovação nos protótipos desenvolvidos, como detalhado a seguir.

5.2.1 Solução de Contato

Foram identificadas oito soluções distintas de contato: quatro baseadas no uso de comandos de leitura digital e duas baseadas em comandos de leitura analógica. As soluções de leitura digitais foram mais frequentes – 17 dos 22 protótipos. Todas as soluções propostas foram empregadas por mais de um grupo,

resultando em uma predominância de inovação parcial para este aspecto, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Níveis de inovação

Aspecto	Número de protótipos		
	Inovação	Inovação Parcial	Sem inovação
Solução de contato	0	17	5
Forma	3	17	2
Materiais	12	2	8

Algumas possíveis soluções de contato ainda não foram usadas pelos grupos, mas é importante destacar que o número de soluções possíveis é limitado, o que também limita as possibilidades de inovações que podem ser propostas pelos grupos para este aspecto, o que não ocorre no caso de inovações em relação à forma.

5.2.2 Forma

Pode-se observar com base nos resultados da Tabela 2 que 3 dos 22 protótipos apresentaram características únicas com relação à base utilizada e localização dos pontos de contato. A maioria dos protótipos apresentou inovação parcial para este aspecto, principalmente em função da escolha da localização dos pontos de contato. As bases utilizadas foram:

- Vestimentas (*wearable*): luva (4); camisa de manga curta (1); camisa de manga curta e luva (1); blusa de manga comprida (2); blusa de manga comprida e luva (6); blusa de manga comprida, luva e calça (1); cinto e luva (1); e braçadeira (1).
- Outras: caixa (2); caixa e cubos (1); bastões (1); e tapete e sapatos (1).

A Figura 10 apresenta um resumo da localização dos pontos de contato nas bases *wearable*. Nota-se que os pontos mais utilizados foram as palmas da mão direita (12) e esquerda (8) e a parte interna dos antebraços direito (10) e esquerdo (7).

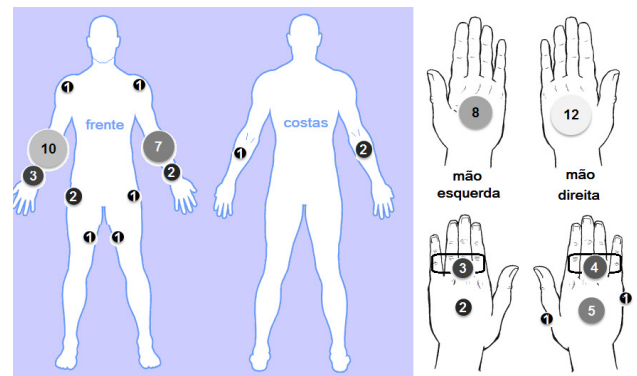


Figura 10. Localização dos pontos de contato nos wearables.

5.2.3 Materiais

Foram disponibilizados aos alunos recursos e materiais para a construção dos protótipos de alta fidelidade a partir de listas de materiais elaboradas pelos grupos. Além dos componentes Arduino e eletrônicos, foram utilizados materiais têxteis, de papelaria e materiais diversos como madeira, plástico, espuma, papel laminado, dentre outros. Em função de limitações de

recursos financeiros, os grupos não usaram alguns materiais mais dispendiosos, como resina, ou equipamentos mais sofisticados, como máquina cortadora a laser e impressora 3D. Mesmo assim, o uso de materiais foi o aspecto que apresentou maior inovação (Tabela 2).

6. CONCLUSÕES

A Prototipação Colaborativa introduz um modo sistemático de criar tangíveis que é motivadora e fomenta a criatividade, como evidenciam os resultados obtidos no estudo. O uso da prototipação possibilita a experimentação e reforça a necessidade do aluno lidar com a realidade, neste caso, a construção de um protótipo funcional.

O que você leva dessa disciplina para sua vida profissional? Metade dos alunos citou a colaboração, promovida pelo trabalho em grupo, como um dos aspectos mais apreciados do curso, reforçando a idéia de que ao trabalhar e/ou estudar em grupo, uma pessoa prepara-se melhor para enfrentar os desafios da sociedade do conhecimento [43]. Esta extrapola a sala de aula com o uso de tecnologias de informação e comunicação adotadas por iniciativa dos próprios alunos. Além da troca de experiências dentro do grupo, a troca entre grupos foi incentivada pela técnica de relatoria ao final da “aula” e por meio da troca de idéias e disseminação das melhores práticas, tanto na sala de aula, como via Open Atrium.

Outra característica importante desta abordagem, também destacada pelos alunos, é o seu potencial para apoiar a aprendizagem colaborativa. Por este motivo, a Prototipação Colaborativa é uma abordagem indicada para o contexto educacional. Os resultados atuais encorajam uma maior investigação do potencial educacional da proposta.

7. AGRADECIMENTOS

Débora Cardador, Wallace Ugulino e Katia Vega recebem bolsas de doutorado do CNPq nº141520/2010-8, nº 142916/2010-2 e nº 140859/2010-1, respectivamente. Hugo Fuks (Projeto nº 302230/2008-4) e Alberto Raposo (Projeto nº 470009/2011-0) recebem suporte financeiro do CNPq. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPERJ/INC&T (E-26/170028/2008) e CNPq/INCT (557.128/2009-9).

8. REFERÊNCIAS

- [1] Nielsen, J. 2006. *Usability Engineering*. Morgan-Kaufman, São Francisco, EUA.
- [2] Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., and Jacobs, S. 2009. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (5th ed.). Addison-Wesley, Reading, EUA.
- [3] Norman, D.A. (Ed.), and Draper, S.W. (Ed.). 1986. *User Centered System Design: New Perspectives on Human-computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, EUA.
- [4] Preece, J., Rogers, Y., and Sharp, H. 2006. *Interaction Design: beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons, West Sussex, Inglaterra.
- [5] Ishii, H. and Ullmer, B. 1997. Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems* (Atlanta, EUA, 22-25 de maio de 1997). CHI'97. ACM Press, Nova York, EUA, 234-241. DOI= 10.1145/258549.258715.
- [6] Ishii, H., Wisneski, C., Brave, S., Dahley, A., Gorbet, M., Ullmer, B., and Yarin, P. 1998. ambientROOM: integrating ambient media with architectural space. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems* (Los Angeles, EUA, 18-23 de abril de 1998). CHI 1998. ACM Press, Nova York, EUA, 173-174. DOI= 10.1145/286498.286652.
- [7] Ullmer, B. and Ishii, H. 1997. The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. In: *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Banff, Canadá, 14-17 de outubro de 1997). UIST'97. ACM Press, Nova York, EUA, 223-232. DOI= 10.1145/263407.263551.
- [8] Barr, M and Massa A. 2006. *Programming Embedded Systems: With C and GNU Development Tools*. 2ª Ed. O'Reilly Media, Sebastopol, EUA.
- [9] Schrage, M. 1996. Cultures of Prototyping. In T. Winograd (Ed.), *Bringing Design to Software*. ACM Press, Nova York, EUA.
- [10] Csikszentmihalyi, M., Rathunde, K., and Whalen, S. 1993. *Talented Teenagers*. Cambridge University Press, Cambridge, EUA.
- [11] Wiethoff, A., Schneider, H., Rohs, M., Butz, A., and Greenberg, S. 2012. Sketch-a-TUI: low cost prototyping of tangible interactions using cardboard and conductive ink. In *Proceedings of the 6th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (Kingston, Canadá, 19-22 de fevereiro de 2012). TEI'12. Kingston, Canada. ACM Press, Nova York, EUA, 19-22. DOI= 10.1145/2148131.2148196.
- [12] Arnowitz, J., Arent, M., and Berger, N. 2007. *Effective Prototyping for Software Makers*. Morgan-Kaufmann. São Francisco, EUA.
- [13] Pimentel, M., Fuks, H. (Orgs.). 2011. *Sistemas Colaborativos*. Elsevier-Campos, Rio de Janeiro, Brasil.
- [14] Snyder, C. 2003. *Paper Prototyping: The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces*. Morgan-Kaufmann, São Francisco, EUA.
- [15] Slegers, K. and Donoso, V. 2012. The impact of paper prototyping on card sorting: A case study. *Interacting with Computers*, 24(5), 351–357.
- [16] Buxton, B. (2007). *Sketching User Experience: Getting the right Design and the Design Right*. Morgan-Kaufmann, São Francisco, EUA.
- [17] Greenberg, S., Fitchett, C. 2001. Phidgets: easy development of physical interfaces through physical widgets. In *Proceedings of The 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (Orlando, EUA, 11-14 de novembro de 2001). UIST'01. ACM Press, Nova York, EUA, 209–218. DOI= 10.1145/502348.502388.
- [18] Wiethoff, A., Schneider, H., Kufner, J., Rohs, M., Butz, A., and Greenberg, S. 2013. *Paperbox - A toolkit for exploring tangible interaction on interactive surfaces*. Research report 2013-1034-01, University of Calgary.
- [19] Coelho, M., Ishii, H., and Maes, M. 2008. Surfplex: A Programmable Surface for the Design of Tangible

- Interfaces. In *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems* (Florença, Italia, 5-10 de abril de 2008). CHI EA'08. ACM Press, Nova York, EUA, 3429-3434. DOI= 10.1145/1358628.1358869.
- [20] Akaoka, E., Ginn, T., and Vertegaal, R. 2010. DisplayObjects: Prototyping functional physical interfaces on 3D styrofoam, paper or cardboard models. In *Proceedings of 4th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction* (Boston, EUA, 25-27 de janeiro de 2010). TEI'10. ACM Press, Nova York, EUA, 49-56. DOI= 10.1145/1709886.1709897.
- [21] Witt, H., Nicolai, T., and Kenn, H. 2004. Designing a wearable user interface for hands-free interaction in maintenance applications. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshop* (Orlando, EUA, 13-17 de março de 2004). PERCOM'04. IEEE Computer Society, Los Alamitos, EUA. DOI= 10.1109/PERCOMW.2006.39.
- [22] Wiethoff, A. and Broll, G. 2011. SoloFind: chains of interactions with a mobile retail experience system. In *Extended Abstracts of ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (Vancouver, Canadá, 7-12 de maio de 2011). CHI EA'11. ACM Press, Nova York, EUA, 1303-1308. DOI= 10.1145/1979742.1979765.
- [23] Maquil, V., Psik, T., and Wagner, I. 2008. The ColorTable: a design story. In *Proceedings of the 6th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction* (Cambridge, Inglaterra, 16-18 de fevereiro de 2008). TEI'08. ACM Press, Nova York, EUA, 97-104. DOI= 10.1145/1347390.1347412.
- [24] Yao, L., Dasgupta, S., Cheng, N., Spingarn-Koff, J., Rudakevych, O., & Ishii, H. 2011. Rope Revolution: tangible and gestural rope interface for collaborative play. In *Proceedings of the 8th International Conference On Advances In Computer Entertainment Technology* (Lisboa, Portugal, 8-11 de novembro de 2011). ACE'11. ACM Press, Nova York, EUA, 11:1-11:8. DOI: 10.1145/2071423.2071437.
- [25] Gerber, E. and Carroll, M. 2012. The psychological experience of prototyping. *Design Studies*, 33(1), 64–84.
- [26] Villar, N., Scott, J., Hodges, S., Hammil, K., and Miller, C. 2012. .NET Gadgeteer: A Platform for Custom Devices. In *Proceedings of Pervasive 2012* (Newcastle, Inglaterra, 28-22 de junho de 2012). Springer-Verlag, Berlim, Alemanha, 216–233. DOI= 10.1007/978-3-642-31205-2_14.
- [27] Buechley, L., Eisenberg, M., Catchen, J., and Crockett, A. 2008. The LilyPad Arduino: Using Computational Textiles to Investigate Engagement, Aesthetics, and Diversity in Computer Science Education. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (Florença, Italia, 5-10 de abril de 2008). CHI'08. ACM Press, Nova York, EUA, 423-432. DOI= 10.1145/1357054.1357123.
- [28] Upton, E. and Halfacree, G. 2012. *Meet the Raspberry Pi*. Wiley, West Sussex, Inglaterra.
- [29] Lau, W., Ngai, G., Chan S., and Cheung, D. 2009. Learning programming through fashion and design: a pilot summer course in wearable computing for middle school students. In *Proceedings of the 40th ACM technical Symposium on Computer Science Education* (Chattanooga, EUA, 4-7 de março de 2009). SIGCSE'09. ACM Press, Nova York, EUA, 504-508. DOI: 10.1145/1508865.1509041.
- [30] Sarik, J. and Kymissis I. 2010. Lab Kits Using the Arduino Prototyping Platform. In *40th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference* (Washington, D.C., EUA, 27-30 de outubro de 2010). IEEE Computer Society, Los Alamitos, EUA, T3C-1 - T3C-5. DOI= 10.1109/FIE.2010.5673417.
- [31] Sentance, S. and Schwiderski-Grosche, S. 2012. Challenge and Creativity: Using .NET Gadgeteer in Schools. In *Proceedings of the 7th Workshop on Primary and Secondary Computing Education* (Hamburgo, Alemanha, 8-9 novembro 2012). WiPCSE 2012. ACM Press, Nova York, EUA. DOI= 10.1145/2481449.2481473.
- [32] Moura, H., Cardador, D., Vega, K., Ugulino, W., Barbato, M., and Fuks, H. 2012. Collaborative Museums: An Approach to Co-Design. In *Proceedings of ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work* (Hangzhou, China, Seattle, EUA). CSCW 2011. ACM Press, Nova York, EUA, 681-684. DOI= 10.1145/2145204.2145307.
- [33] Nielsen, J. and Pernice, K. 2009. *Eyetracking Web Usability*. New Riders, Berkeley, USA.
- [34] Arduino S.A. 2013. *Arduino website*. Available: <http://arduino.cc>.
- [35] Koubâa, A., Alves, M., and Tovar, E. 2005. *IEEE 802.15.4 for Wireless Sensor Networks: A Technical Overview*. Technical Report. Polytechnic Institute of Porto, Portugal.
- [36] Yin, R.K. 2005. *Case Study Research: Design and Methods* 3rd ed. Sage Publications, Thousand Oaks, USA.
- [37] Nicolaci-da-Costa, A. 2007. The Field of Qualitative Research and the Underlying Discourse Unveiling Method (UDUM). *Psicologia: Reflexão e Crítica*, 20, 1, 65-73. DOI= 10.1590/S0102-79722007000100009.
- [38] Csikszentmihalyi, M. 1990. *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial Modern Classics, New York, USA.
- [39] Levesque, C., Copeland, K. J., Pattie, M.D., and Deci, E.L. (2010). Intrinsic and Extrinsic Motivation. In P. Peterson, E. Baker, B. McGaw (Eds.), *International Encyclopedia of Education*, Vol. 6, 618-623. Elsevier, Oxford, UK.
- [40] Silva, V.T., Lucena, C.J.P., and Fuks, H. 2001. ContentNet: a framework for the interoperability of educational content using standard IMS. *Computers & Education*, 37(3–4), 273-295.
- [41] Phase2. 2013. *Open Atrium website*. Available: <http://openatrium.com>.
- [42] Johannessen, J., Olsen, B., and Lumpkin, G.T. 2001. Innovation as newness: what is new, how new, and new to whom?. *European Journal of Innovation Management*, 4, 1, 20–31. DOI= 10.1108/14601060110365547.
- [43] Gerosa, M.A., Fuks, H., and Lucena, C.J.P. 2001. Tecnologias de Informação Aplicadas à Educação: Construindo uma Rede de Aprendizagem Usando o Ambiente AulaNet. *Informática na Educação: Teoria e Prática*, 4(2), 63-74.