

SAPIENS: OS DESAFIOS DE UMA ARQUITETURA PERSUASIVA

JONAS CASARIN*, FERNANDA PINTO MOTA*, FERNANDO PEREIRA DE TOLÊDO*, SAM DA SILVA DEVINCENZI*, VIVIANI KWECKO*, EDUARDO HENRIQUE MACIEL*, RENATO VENTURA BAYAN HENRIQUES†, SILVIA SILVA DA COSTA BOTELHO*

*Universidade Federal do Rio Grande
Rio Grande, RS, Brasil

†Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto alegre, RS, Brasil

Emails: jonas.casarin@gmail.com, fernanda.mota@furg.br, ftoledo@furg.br, sam.devincenzi@gmail.com, viviani.kwecko@riogrande.ifrs.edu.br, viviani.kwecko@riogrande.ifrs.edu.br, rventura@ece.ufrgs.br, silviacb@furg.br

Abstract— Considering the advantages and challenges of Cyber-Physical Systems (CPS) and the possible opportunities for its use for persuasion this article aims to present a proposal persuasively architecture based on CPS. This work is important contribution to the development of a persuasive CPS architecture that is able to interact with the user in order to obtain the desired behavior. More specifically, Fogg template was transcribed using the PSC as a support. In order to validate the architecture, presents a case study in an environment with a focus on reducing energy consumption. This study contributes to the CPS application in persuasion, which was not explicitly explored in the literature through persuasion architecture where there is the proposed concrete measure of user ability and motivation levels.

Keywords— Cyber-Physical System, Fogg Behavior Model, Persuasive Architecture

Resumo— Diante das vantagens e desafios de sistemas Cyber-Physical Systems (CPS) e das possíveis oportunidades do seu uso para persuasão este artigo tem como objetivo apresentar a proposta de uma arquitetura persuasiva baseada em CPS. Este trabalho apresenta como principal contribuição o desenvolvimento de uma arquitetura CPS persuasiva que seja capaz de interagir com o usuário de modo a obter o comportamento desejado. Mais especificamente, o modelo de Fogg foi transcrito utilizando como aporte o CPS. De modo a validar a arquitetura, apresenta-se um estudo de caso em um cenário com foco na redução de consumo de energia elétrica. Este estudo contribui com a aplicação de CPS em persuasão, que não foi explorado explicitamente na literatura por meio de uma arquitetura persuasiva na qual destaca-se a proposta de mensuração concreta dos níveis de habilidade e motivação do usuário.

Palavras-chave— Sistema Ciber-físico, Modelo de Comportamento do Fogg, Arquitetura Persuasiva

1 Introdução

O termo *Cyber-Physical Systems* (CPS) surge de modo a representar complexos sistemas que integram computação, redes e ambientes físicos com seus elementos (Kim and Kumar, 2012). Devido a natureza multidisciplinar, os CPSs normalmente são projetados utilizando diferentes modelos, tais como (Passarini et al., 2014): (i) modelo matemático que representa a dinâmica do sistema físico, (ii) algoritmos de controle, e (iii) projeto do sistema computacional embarcado. Devido ao monitoramento e controle mais seguro, confiável e eficiente, CPS's proporcionam novos patamares de integração humano-máquina e máquina-humano. Além disso, promovem uma abordagem de projeto dirigido por modelos, proporcionando benefícios como a independência de plataforma, níveis de abstração mais altos, e a reutilização de informações. CPS's vem sendo aplicados em diversas áreas, tais como: saúde (Wang et al., 2015; Jung and Cho, 2013), controle de tráfego e segurança (Singh and Sprintson, 2010), sistemas automotivos avançados (Wolf, 2014), militares (Tang et al., 2012) e de aviação (Sampigethaya and Poovendran, 2013), na otimização de energia (Zhao

et al., 2013), infraestrutura críticas (água, energia) (Fitzgerald et al., 2012) e na robótica distribuída (Wang et al., 2015), entre outros.

Neste contexto de interação surge o conceito de Tecnologia Persuasiva (TP), também conhecida como Captologia, que consiste na interseção entre a tecnologia ubíqua e o conceito psicológico da persuasão. A persuasão é definida como a habilidade de induzir crenças e valores em outras pessoas para influenciar seus pensamentos e ações (Fogg, 2002).

Com base no uso de tecnologias persuasivas no cotidiano, (Fogg, 2009) descreve seu Modelo de Comportamento (Fogg Behavior Model - FBM), como produto de três fatores: i) Motivação: facilitador para mudança de comportamento; ii) Habilidade: grau de competência que um indivíduo tem para realizar um comportamento; iii) Gatilhos: mensagens que tem como objetivo induzir um indivíduo a realizar um determinado comportamento. O comportamento alvo somente será alcançado na presença dos três fatores (motivação, habilidade e gatilho) no instante de tempo adequado.

Percebe-se que o sucesso da persuasão decorre da capacidade e inferir as reais habilidades e o

grau de motivação do indivíduo. Além de necessitar identificar e avaliar as específicas evidências necessárias a um determinado objetivo a ser alcançado, se faz importante têm também acompanhar e atribuir um grau de motivação do indivíduo; associado a suas expectativas quanto ao alcance da meta (Fogg, 2002). Por outro lado, de forma se tornarem efetivos os gatilhos devem se constituir em mensagens e alertas que realmente provoquem disparos de comportamentos e atividades rumo ao alcance da meta. Assim, as tecnologias persuasivas devem tratar complexos modelos de relações entre o indivíduo, o meio e seu comportamento alvo, permitindo a aquisição e análise do seu grau de motivação e habilidade, bem como a escolha e disparo de gatilhos de sucesso.

O CPS fornece um aporte tecnológico para elaboração de TPs e supomos que este auxilie na aquisição, atuação e modelagem dos dados decorrentes das complexas relações entre o indivíduo e o meio. Além de modelar estas relações o CPS também possibilita a interação virtual, que pode propiciar o disparo de novos tipos de gatilhos em uma perspectiva multimodal de sensibilização do usuário frente aos seus sentidos (audição, visão, olfato, paladar e toque). Essas experiências podem ser exploradas visando acelerar o processo de alcance de comportamentos desejados. Assim, a presença a qualquer instante do CPS, seja no ambiente físico, seja nos possíveis l cous virtuais a se estabelecerem, pode conduzir a precisos tempos de disparos dos gatilhos e desta forma a uma otimização da persuasão buscada.

A partir da revisão da literatura pode-se notar a ausência de persuasão em CPS's, ou seja, ainda não foi explorado explicitamente na literatura as aplicações de CPS que tenham como foco principal a persuasão do indivíduo frente a mudança de comportamento e atitudes. Mesmo que alguns trabalhos apresentem agentes inteligentes responsáveis por CPS cognitivos com alto grau de tomada de decisão (Leitão et al., 2015; Wan et al., 2010), ainda pouco foi explorado relativo a possibilidade de desenvolvimento de CPS que incorporem explicitamente conceitos de persuasão em sua inteligência para deliberação e execução.

Diante de tais vantagens e desafios relacionados ao uso de CPS para o desenvolvimento de TP, este trabalho tem como objetivo propor uma arquitetura persuasiva baseada em Sistemas Cyber-Physical Systems.

2 Caminhos Metodológicos

O produto computacional persuasivo proposto percorreu uma abordagem exploratória, cuja aplicação teve por finalidade entender os quesitos associados ao desenvolvimento de CPS's e possíveis relações com tecnologias persuasivas. Inicialmente foram definidas arquiteturas CPS de referência

(Tan et al., 2008; Wang et al., 2011; Akanmu et al., 2013), que fundamentaram a estrutura proposta. A seleção destas considerou a capacidade das mesmas em interagir com um agente persuasivo capaz de motivar o usuário a uma mudança de comportamento, a partir da interpretação dos dados provenientes de sensores. A validação deste sistema, foi realizado a partir de um estudo de caso daquilo que denominou-se Projeto Sapiens. Esse sistema foi instalado em uma residência de aproximadamente 200m², localizada no Balneário Cassino, na cidade do Rio Grande/RS onde residem em um total de 5 pessoas sendo todos homens, universitários e com idade entre 20 e 26 anos. A estrutura é composta por dois *smart plug* instalados nos equipamentos, para medir os índices de consumo de energia e uma *smart cam* responsável por identificar a presença humana no ambiente. Os aparelhos selecionados foram uma caixa de som da marca Wattson, com consumo médio 37 Wh (Watts/hora) e um aparelho televisor marca Sempt Toshiba cujo consumo médio é de 65 Wh. A escolha desse tipo de equipamento justifica-se pelo alto  ndice de uso pela faixa etária dos jovens pesquisados.

3 Arquitetura SapiEns

A Figura 1 apresenta a arquitetura persuasiva que está organizada a partir de uma relação entre: os Domínios Humano, Físico e Virtual; e os fluxos de interação que ocorrem entre as camadas do sistema.

A *camada de interação física*   responsável pelo contato entre os diferentes elementos do *domínio físico* e o sistema. Essa interface é fundamental para o processo, pois a partir dela ocorre o envio e a requisia  o das informações que acionam, por diferentes protocolos de comunicação, a interoperabilidade entre *hardware* e *software*.

A *camada de interação virtual*, permite   comunicação e integração entre os sistemas externos (redes sociais, interfaces baseadas em serviços na nuvem, sistemas de gerenciamento financeiro, entre outros) e o CPS. Através dessa camada e dos protocolos em MQTT¹ o sistema é capaz de interagir virtualmente com o CPS. A *camada de sensibilidade ao contexto* recebe, interpreta e encaminha os dados entre os diferentes níveis do sistema. Essa percepção e análise de contexto   responsável por tratar a procedência dos dados, process -los e encaminhá-los aos respectivos destinos. Nesse momento ocorre também o controle de segurança de todo o sistema, já que barreiras foram programadas para impedir o acesso e gerenciamento indevido nos diferentes níveis do CPS. A *representação* agrega o conjunto de estados dos *domínios* (*humano, físico e virtual*) e configura-se em uma

¹<http://mqtt.org/>

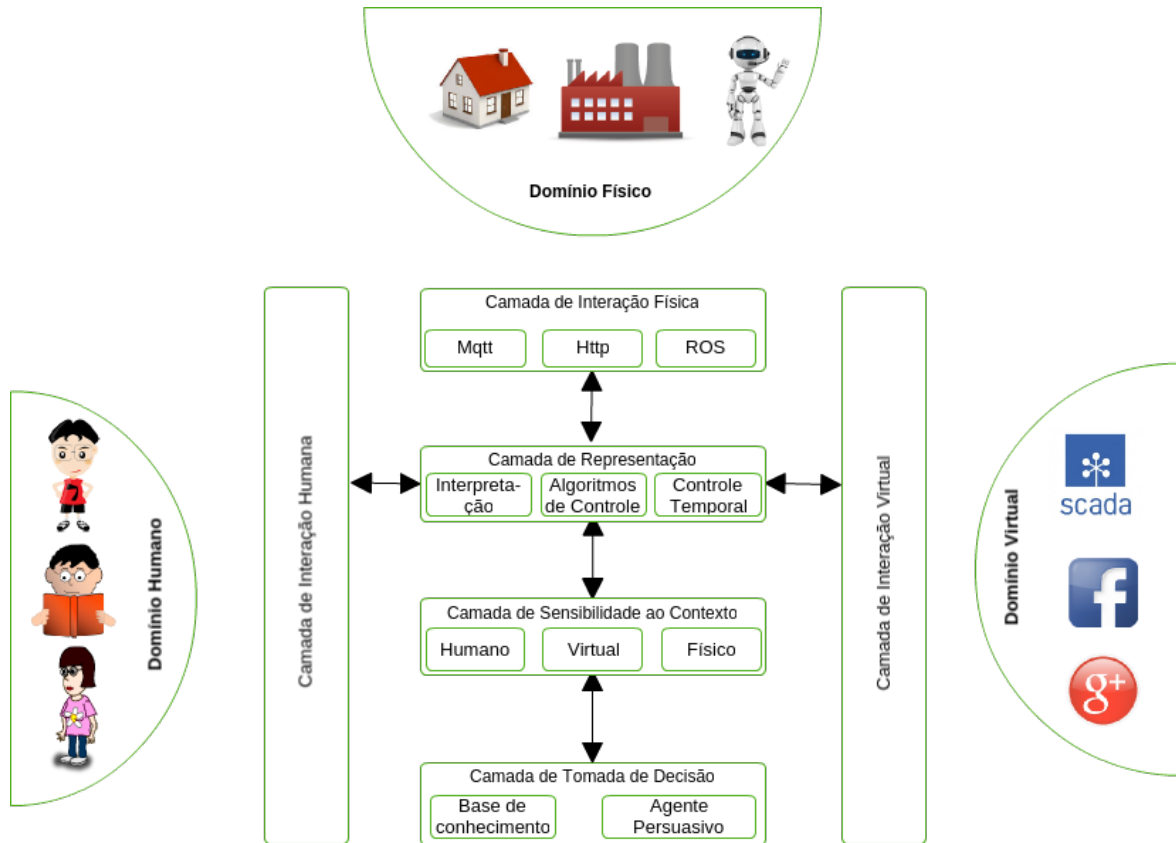


Figura 1: Arquitetura Persuasiva Baseada em CPS

fase de organização do sistema por meio de repositórios, coleções de objetos ou bancos de dados que auxiliam na validação e integração entre as camadas de sensibilidade ao contexto e decisão.

A última camada é responsável pela tomada de decisão associada a escolha e disparo dos corretos gatilhos ao usuário. Esta camada contempla os módulos de base de conhecimento e o agente persuasivo, ambos são fundamentados nos conceitos descritos por (Fogg, 2009).

A base de conhecimento é constituída por gatilhos do tipo *Spark*, *Facilitator* e *Signal*. *Spark* é adequado para indivíduos que têm pouca motivação e alta habilidade para realizar um comportamento alvo. *Facilitator* é adequado para indivíduos que têm alta motivação e pouca habilidade, sendo o seu objetivo facilitar a execução de um comportamento (aumentando a habilidade) do indivíduo. Já o *Signal* é utilizado quando uma pessoa tem motivação e habilidade elevadas para realizar o comportamento alvo. Esse tipo de gatilho não pretende motivar as pessoas ou simplificar sua tarefa, atua apenas como um lembrete. Além disso, o sistema deve considerar a relação entre a habilidade e motivação do usuário bem como a relevância dessas mensagens para o usuário, a partir das respostas de cada gatilho que são armazenados na base de conhecimento. Estas respostas tem como objetivo servir de base para o cálculo de habilidade e motivação do usuário, pos-

sibilitando assim, a escolha dos gatilhos de acordo com esse cálculo. O agente persuasivo por sua vez é responsável por mensurar o grau de habilidade e motivação, bem como selecionar o gatilho mais adequado para o usuário a fim de persuadi-lo. Para isto, o agente persuasivo conta com os módulos habilidade, motivação e seletor de gatilhos.

O módulo habilidade tem como principal objetivo inferir o grau de habilidade do usuário do sistema. Para isto, recebe informações da camada de representação referentes ao domínio físico, humano e base de conhecimento. Basicamente, considera-se alguns aspectos: (i) tempo (Δt), podendo-se considerar a análise da agenda virtual do usuário (ex: calendário do Google) para verificar o tempo ocupado e disponível em cada período do dia. (ii) dinheiro (Δd), fator obtido através da camada de interação virtual através da integração com sistemas de gerenciamento financeiro pessoal (ex.: BudgetBaker. Também é possível verificar por meio da camada de interação humana informações como mensagens (SMS) enviadas ao usuário para informar ou confirmar alguma transação bancária (compras, transferências, entre outras) e assim perceber o nível de habilidade monetária do usuário. (iii) Esforço físico (Δe), fator obtido a partir da avaliação dos sensores no domínio físico (ex: pedômetro, câmeras, localização, entre outros). (iv) ciclos de cérebro (Δc),

verifica-se a capacidade cognitiva ou nível intelectual do indivíduo por meio da aplicação questionários ou resolução de algum problema (quebra cabeça, entre outros). (v) *rotina*, verifica-se o fator de habilidade (Δr) a partir dos três domínios, domínio físico permite que o sistema perceba e verifique e identifica a localização e os padrões de comportamento dos usuários por meio dos sensores. Por meio do domínio virtual é possível adquirir informações referentes às rotinas do usuário. Além disso, é possível perceber quais são as ações habituais que o usuário executa no sistema por meio da interação com os gatilhos e com a interface. (vi) *Desvio social* (Δs), verifica-se por meio do domínio virtual se o indivíduo concorda com algumas regras pré-estabelecidas no sistema relacionadas ao comportamento desejado (um exemplo seria análise de likes no Facebook com relação a determinado tema). Assim, todos elementos envolvidos (Δt , Δe , Δc , Δr , Δs) são ponderados de forma a calcular o seu nível de habilidade a cada instante.

Já o módulo motivação tem como principal objetivo calcular o grau de motivação do usuário, para isto recebe informações referentes ao domínio virtual e humano, da camada de representação e do módulo da base de conhecimento. Para compor essa rede de informações deve-se considerar os seguintes aspectos: (i) *motivador social*, caracterizado pelo compartilhamento de informações em redes sociais, participação em grupos ou eventos, número de likes do Facebook, entre outros. Estas informações podem ser associadas aos objetivos do sistema e são relacionadas ao grau de similaridade de palavras. (ii) *motivador prazer/dor*, considera o tempo de interação do usuário com o sistema persuasivo, representando o seu prazer em utiliz lo. (iii) *motivador Esperança/medo*, o terceiro e último fator a ser calculado é a esperança/medo. Para isto leva-se em consideração um valor x em relação a unidade do objetivo do sistema. Este valor representa o grau de esperança que o usuário tem em obter sucesso diante de uma determinada atividade. Quando definido esta unidade base, atribui-se um valor discreto a cada variação, de modo que aumente ou diminua o  ndice de motivação em relação a esperança/medo do usuário. Nota-se que os motivadores positivos apresentam um nível de aceitação do usuário ao contrário dos motivadores com conotação negativa que podem causar repulsa diante do sistema, essa oscilação entre uma persuasão negativa ou positiva depende de um sistema personalizado.

Por fim, destaca-se o *seletor de gatilhos* que realiza a seleção da mensagem a ser enviada ao usuário visando alterar os seus níveis de *habilidade* e/ou *motivação*, o que resultará na modificação de seu comportamento. Para a *seleção do gatilho*, o sistema deve considerar a relação entre a *habilidade* e *motivação* do usuário, bem como a rele-

v ncia dessas mensagens. Esse conjunto de mensagens é denominado *recomendação* e percorre o seguinte fluxo camada de sensibilidade ao contexto (gerado) – *módulo de controle de recomendação* (armazena as respostas na base de conhecimento). A partir dessa etapa o sistema aciona um processo de escolha das mensagens a serem enviadas. Para a seleção utiliza-se um algoritmo do tipo roleta, no qual cada gatilho recebe um peso proporcional ao seu nível de recomendação. Assim, gatilhos com alto recomendação têm uma proporção maior na roleta. Assim, a roleta é girada um determinado número de vezes, dependendo do número de gatilhos, e são escolhidos aqueles que foram sorteados na roleta.

4 Estudo de Caso: validação do sistema

Nessa sessão apresenta-se um estudo de uso da Arquitetura Sapiens aplicada na persuasão direcionada ao consumo sustentável de energia elétrica, a partir da otimização do comportamento de consumo. No mês de março de 2016 foram realizadas medições de consumo de energia elétrica de alguns equipamentos em uma residência durante um período contínuo de duas semanas, totalizando 336 horas. As medições foram organizadas em dois momentos distintos, conforme mostra a Tabela 1. É importante ressaltar que durante o experimento adotou-se como critério de desperdício de energia elétrica todo consumo medido sem a presença do usuário no ambiente monitorado. A existência de consumo e ausência de usuário podem indicar o esquecimento do equipamento ligado ou equipamento em modo *standby*.

Tabela 1: Medição do consumo dos aparelhos residenciais conectados aos smart plugs durante as duas semanas. *Ocasionalmente por condições climáticas

Dias da Semana	1� Se- mana	2� Semana
Segunda-Feira	453,95	66,77
Terça-Feira	359,51	109,52
Quarta-Feira	33	89,55
Quinta-Feira	220,76	74,88
Sexta-Feira	450,42	10
Sábado	324	Queda de luz*
Domingo	144	Queda de luz*

Durante a primeira semana, os gatilhos foram desativados, objetivando aferição do consumo real de energia apresentado pelo comportamento dos usuários. Na primeira semana verificou-se um desperdício total de 1985,64 Watts, sendo que o consumo referente ao aparelho de som foi de 868,74 Watts e do televisor foi de 1116,90 Watts. Na segunda semana do experimento, houve a ativação do envio de gatilhos ao usuário na tentativa de

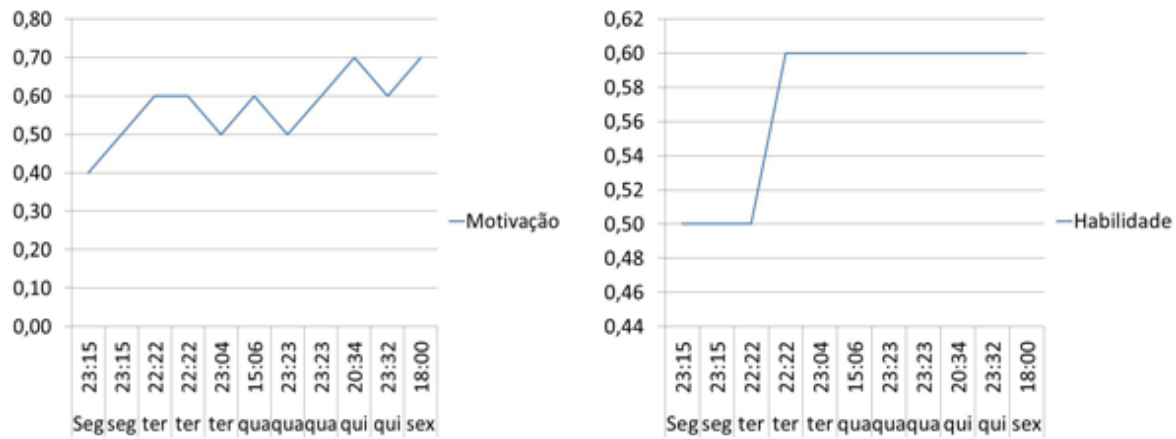


Figura 2: Níveis de habilidade e motivação medidos durante a segunda semana do estudo de casos

persuadí-lo a reduzir o desperdício de energia. Foram enviados seis tipos de gatilhos como demonstra a Tabela 2. O efeito almejado por cada gatilho é aumentar a motivação e/ou habilidade do usuário para a redução de seu consumo de energia.

Observa-se que o desperdício total na segunda semana foi de 350,72 Watts, sendo que o desperdício referente ao aparelho de som foi de 75,00 Watts e 275,72 Watts referente ao televisor. Destaca-se ainda nesta semana os resultados encontrados quanto aos níveis de motivação e habilidade medidos no momento de seleção e disparo dos gatilhos, Figura 2, que mostram que a arquitetura apresentada na seção 3 cumpre o proposto.

Comparando-se os resultados da primeira e da segunda semana de experimento percebe-se uma redução de 82,34% de desperdício de energia. Isto representa uma economia anual de R\$ 37,67². Assim, foi possível notar que a partir da intervenção do sistema (ativação dos gatilhos) pode-se persuadir o usuário a economizar energia. O estudo de caso realizado, que a arquitetura proposta contemplou seus objetivos, visto que o sistema Sapiens pode ser desenvolvido utilizando sua estrutura para conectar seus sensores e atuadores e desenvolver as rotinas necessárias aos seus objetivos de persuasão para consumo sustentável de energia elétrica.

5 Conclusão

Os resultados aqui apresentados instigam à continuação deste estudo, pois é válido ressaltar que ao inserir no âmbito do CPS a persuasão, mais propriamente associadas ao Modelo de Comportamento de Fogg (FBM), foi possível medir a motivação e a habilidade do usuário diante de um contexto no qual a tecnologia persuasiva objetivou a economia de energia elétrica. Apesar do modelo FBM ser aplicado em diversos contextos e ser

Tabela 2: Gatilhos cadastrados no sistema

Id	Conteúdo	Tipo
1	Olá Usuário, você esqueceu a(o) caixa de som ligada(o). Não desperdice energia, participe da campanha #DesperdicioZero clicando em desligar.	Spark: aceitação/rejeição social
2	Olá Usuário, você esqueceu a(o) TV ligada(o). Se você desligá-la(o) agora poderá deixar de emitir 41,65g de CO2 no nosso planeta	Spark: esperança e medo
3	Olá Usuário, não quero tomar o seu tempo. Só vim avisar que você esqueceu a(o) caixa de som ligada. Quer que a(o) desligue?	facilitador: tempo
4	Olá Usuário, vamos evitar que sua conta de luz venha muito alta este mês? Você esqueceu a(o) caixa de som ligada. Quer que a(o) desligue?	Spark: esperança e medo
5	Olá Usuário, você esqueceu a(o) TV ligada(o). Mas não se preocupe, não precisa retornar a sua casa para desligá-la. Basta clicar em desligar	facilitador: esforço físico
6	Olá Usuário. Você esqueceu a(o) TV ligada(o). Você pode deixar de gastar 4 centavos em um clique.	Spark: esperança e medo

²fonte: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1248>

muito flexível, ele é originalmente um modelo abstrato, ou seja, seus componentes (motivação, habilidade, gatilhos) depois de individualmente mapeados podem ser implementados nas mais diferentes áreas de interesse. Esse processo de personalização do sistema também possibilita níveis de comunicação com o usuário de forma individualizada o que intensifica a colaboração em tempo real ou interatividade instantânea que pode permitir melhores tomadas de decisão e mudança de comportamento. Como trabalhos futuros propõe-se que a arquitetura apresentada seja implementada em outras áreas (saúde, comércio, educação, indústria) além da área (conscientização sobre o uso sustentável de energia) proposta pelo Sapiens. Também propõe-se a realização do estudo com o número maior de residências e usuários e por um período maior que trinta dias.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos seguintes órgãos de fomento pelo financiamento do projeto o qual foi utilizado como estudo de caso para esse trabalho: Universidade Federal de Rio Grande, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Companhia Estadual de Energia Elétrica - CEEE e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, bem como agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior - Capes e ao CNPq pelas bolsas de auxílio ao estudantes.

Referências

Akanmu, A., Anumba, C. and Messner, J. (2013). Scenarios for cyber-physical systems integration in construction, *vol 18*: 240–260.

Fitzgerald, J., Mak, T., Romanovsky, A. and Yankovlev, A. (2012). *Workshop Proceedings: Trustworthy Cyber-Physical Systems*, Computing Science - Newcastle University.

Fogg, B. J. (2002). Persuasive technology: using computers to change what we think and do, *Ubiquity* **2002**(December): 5.

Fogg, B. J. (2009). A behavior model for persuasive design, *Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology*, ACM, pp. 40–46. Claremont, CA. New York, NY: Association for Computing Machinery.

Jung, M.-W. and Cho, J. (2013). Interoperability and control systems for medical cyber physical systems, *IT Convergence and Security 2012*, Springer, pp. 283–291.

Kim, K.-D. and Kumar, P. R. (2012). Cyber-physical systems: A perspective at the cen-

tennial, *Proceedings of the IEEE* **100**(Special Centennial Issue): 1287–1308.

Leitão, P., Colombo, A. W. and Karnouskos, S. (2015). Industrial automation based on cyber-physical systems technologies: Prototype implementations and challenges, *Computers in Industry*.

Passarini, R. F. et al. (2014). Transformação assistida de modelos: mecanismo de suporte para o desenvolvimento de cyber-physical systems.

Sampigethaya, K. and Poovendran, R. (2013). Aviation cyber-physical systems: foundations for future aircraft and air transport, *Proceedings of the IEEE* **101**(8): 1834–1855.

Singh, C. and Sprintson, A. (2010). Reliability assurance of cyber-physical power systems, *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, IEEE, pp. 1–6.

Tan, Y., Goddard, S. and Perez, L. C. (2008). A prototype architecture for cyber-physical systems, *ACM Sigbed Review* **5**(1): 26.

Tang, L. A., Gu, Q., Yu, X., Han, J., La Porta, T. F., Leung, A., Abdelzaher, T. F. and Kaplan, L. M. (2012). Intrumine: Mining intruders in untrustworthy data of cyber-physical systems, *SDM*, SIAM, pp. 600–611.

Wan, J., Li, D. and Zhang, P. (2010). Key technology of embedded system implementation for software-based cnc system, *Chinese Journal of Mechanical Engineering* (2): 217.

Wang, H., Liu, J. and Han, J. (2015). Rs-cps: A distributed architecture of robotic surveillance cyber-physical system in the nature environment, *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2015 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 1287–1292.

Wang, J., Abid, H., Lee, S., Shu, L. and Xia, F. (2011). A secured health care application architecture for cyber-physical systems, *arXiv preprint arXiv:1201.0213*.

Wolf, M. (2014). *High-Performance Embedded Computing: Applications in Cyber-Physical Systems and Mobile Computing*, Elsevier Science. [Online; acessado 11-fev-2016].

Zhao, P., Suryanarayanan, S. and Simoes, M. G. (2013). An energy management system for building structures using a multi-agent decision-making control methodology, *Industry Applications, IEEE Transactions on* **49**(1): 322–330.