

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Uso de Modelos Formais em Sistemas Pervasivos de Cuidados
de Saúde: um Estudo de Caso em Auxílio à Prática de
Exercícios Físicos

Elthon Alex da Silva Oliveira

Tese submetida ao Programa do Curso de Doutorado em Ciência da
Computação da Universidade Federal de Campina Grande - Campus de
Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do
grau de Doutor em Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação
Linha de Pesquisa: Engenharia de Software

Leandro Dias da Silva
Hyggo Oliveira de Almeida
(Orientadores)

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Elthon Alex da Silva Oliveira, maio de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

O48u

Oliveira, Elthon Alex da Silva.

Uso de modelos formais em sistemas pervasivos de cuidados de saúde : um estudo de caso em auxílio à prática de exercícios físicos / Elthon Alex da Silva Oliveira. – Campina Grande, 2015.

139f. : il. color.

Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2015.

"Orientação: Prof. Dr. Leandro Dias da Silva, Prof. Dr. Hyggo Oliveira de Almeida".

Referências.

1. Computação Pervasiva. 2. Modelos Formais. 3. Exercícios Físicos. 4. Manutenção de Conformidade. I. Silva, Leandro Dias da. II. Almeida, Hyggo Oliveira de. III. Título.


CDU 004.416.3(043)

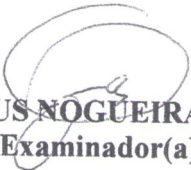
"USO DE MODELOS FORMAIS EM SISTEMAS PERVASIVOS DE CUIDADOS DE SAÚDE: UM ESTUDO DE CASO EM AUXÍLIO À PRÁTICA DE EXERCÍCIOS FÍSICOS"

ELTHON ALLEX DA SILVA OLIVEIRA

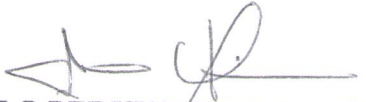
TESE APROVADA EM 08/05/2015

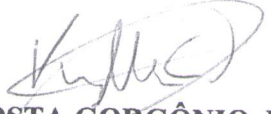

HYGGO OLIVEIRA DE ALMEIDA, D.Sc, UFCG
Orientador(a)


LEANDRO DIAS DA SILVA, D.Sc, UFAL
Orientador(a)


ANTONIO MARCUS NOGUEIRA LIMA, Dr., UFCG
Examinador(a)

IVAN TORRES PISA, Dr., UNIFESP
Examinador(a)


ANGELO PERKUSICH, D.Sc, UFCG
Examinador(a)


KYLLER COSTA GORGÔNIO, Dr., UFCG
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB



Universidade Federal
de Campina Grande

Declaro, para os devidos fins, que participei por videoconferência da apresentação da defesa da Tese de Doutorado de **Elthon Alex da Silva Oliveira**, intitulada: "USO DE MODELOS FORMAIS EM SISTEMAS PERVASIVOS DE CUIDADOS DE SAÚDE: UM ESTUDO DE CASO EM AUXÍLIO À PRÁTICA DE EXERCÍCIOS FÍSICOS", em 08 de Maio de 2015 e considero o trabalho aprovado.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Ivan Torres Pisa', is written over a horizontal line.

Ivan Torres Pisa (UNIFESP)

Resumo

Diversas soluções de software têm sido desenvolvidas para a área de cuidados de saúde. Nesta área, destacam-se as pesquisas em exercícios físicos, que tem recebido grande atenção da Organização Mundial de Saúde por ajudar a diminuir os riscos de diversas doenças e a aumentar a qualidade de vida das pessoas acometidas por alguma delas. Contudo, há três problemas principais nas soluções existentes desenvolvidas para o acompanhamento de exercícios físicos: i) levam em consideração apenas variáveis fisiológicas, ii) necessitam da atenção do profissional de saúde durante a prática do exercício e iii) não fornecem recomendações customizadas. Neste trabalho, é apresentado um método para proporcionar a manutenção de conformidade entre as ações dos indivíduos e as recomendações do profissional de saúde, durante a prática de exercícios, sem a presença do mesmo *in loco*. Tal método possibilita a construção de um modelo na forma de autômato finito. Este autômato, chamado de modelo de referência, é capaz de descrever como o indivíduo deve se comportar a fim de se manter em conformidade com as recomendações do profissional de saúde. Por ser gerado a partir da composição de modelos menores, a evolução do modelo pode ser obtida e as propriedades garantidas por construção. Além disso, propriedades de vivacidade e segurança são verificadas no modelo construído por meio da técnica de verificação de modelos, fornecendo confiabilidade ao sistema. Algumas tarefas foram executadas no processo de avaliação do método apresentado e demonstraram que: o processo de construção do modelo de referência está de acordo com o processo clínico; o modelo gerado é capaz de representar o conhecimento do especialista, fornecendo recomendações adequadas ao indivíduo; e a solução apresentada é tecnicamente viável de ser implementada e executada; e, por fim, este método pode ser usado em cenários reais, desde que os indivíduos não estejam sob condições de estresse.

Abstract

Several software solutions have been developed for the healthcare area. In this area, we highlight the area of physical exercise that has received great attention from World Health Organization for helping decreasing risk of various diseases and improving the quality of life of people affected by some of them. However, there are three main problems with such solutions developed for monitoring of physical exercises: i) only physiological variables are supported, ii) professional attention is required during the exercise, and iii) customized recommendations are not given. In this work, we present a method to provide accordance maintenance between individuals actions and recommendations from healthcare professional, during the exercise execution, without the presence of him *in loco*. Such a method makes it possible to build a finite automaton model. Such an automaton, called reference model, describes how an individual must behave aiming to follow recommendations from the healthcare professional. As it is obtained by means of composition from smaller models, the model evolution is accomplished and properties are guaranteed by means of building process. Besides, liveness and safety properties are checked in the model by the model checking technique, making the model more reliable. Some tasks were performed during the evaluation process and showed that: the building process of the reference model is according to the clinical procedure; the generated reference model is able to represent the knowledge of the healthcare professional by providing appropriate recommendations; the presented solution is technically feasible to be developed and executed; and such a method can be used in real scenarios, since individuals are not under stress conditions.

Agradecimentos

Acho que sou uma pessoa muito abençoada. Tenho muitos amigos e há muita gente a agradecer. Assim, esta parte do documento pode ser um pouco maior do que esperado. Algumas pessoas são mencionadas mais de uma vez por terem contribuído em vários aspectos. Agradacerei de acordo com o contexto da contribuição.

Primeiramente, gostaria de agradecer às três pessoas mais importantes e que mais contribuíram para minha educação: meu pai José, minha mãe Luciene e minha tia Irene (*in memoriam*). Agradeço também à minha tia Iracema pela torcida constante.

Agradeço aos meus orientadores, professores Hyggo Oliveira de Almeida e Leandro Dias da Silva, por terem depositado confiança em mim. Agradeço principalmente pelas paciência e certa flexibilidade neste longo processo de formação. Em especial, agradeço ao professor Leandro por sempre ter me incentivado a ingressar no doutorado.

Agradeço aos membros da banca, professores Angelo Perkusich, Antonio Marcus Nogueira Lima, Ivan Torres Pisa e Kyller Costa Gorgônio, pelas críticas construtivas e ensinamentos dados objetivando o melhoramento deste trabalho e, conseqüentemente, de minha formação acadêmica enquanto pesquisador. Em especial agradeço ao professor Ivan que sempre se dispôs a ajudar neste trabalho e me atendeu em diversos momentos.

Agradeço ao professor Angelo que proveu o espaço adequado no Laboratório Embedded para que eu pudesse desenvolver este trabalho enquanto estivesse morando em Campina Grande. Professor Angelo foi o primeiro a ver algum potencial na ideia deste trabalho, o que me deu motivação para investigar. Agradeço também ao professor Kyller por ter estado sempre disponível a ler e a criticar meus artigos.

Agradeço sinceramente à professora Patrícia Machado (CEEI/UFCG) que, com uma breve conversa num momento bem oportuno e providenciado pelo acaso, me deu mais força para continuar minhas pesquisas. Agradeço também aos professores Alejandro Frery e Evandro de Barros Costa (IC/UFAL) pelos conselhos dados ao longo destes anos.

Agradeço aos profissionais que me ajudaram em discussões durante a fase de definição do problema a ser abordado: médico Dr. Antônio Fernando, médico Bel. Gustavo Santos, médico Esp. Hamilton Pimentel, médico Me. José Maria, professora e enfermeira Me.

Nirliane Ribeiro e professor e biólogo Dr. Thiago Gomes. Em especial, agradeço ao Gustavo e ao Hamilton por terem sempre me recebido em suas casas, inclusive aos finais de semana.

Agradeço aos meus ex-bolsistas e atuais profissionais de Educação Física, Bráulio Patrick e Douglas Henrique, e de Computação, Marcos José, que me ajudaram em diversas discussões técnicas envolvendo este trabalho. Agradeço ao amigo Arnaldo Tenório Cunha Júnior por sempre estar disponível para discutir sobre o tema abordado, indicando artigos, tirando dúvidas, dando sugestões e bebendo bons vinhos. Aos pesquisadores do mestrado em Saúde e Sociedade da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte, em Mossoró, professores Humberto Medeiros e Maria Knackfuss, por terem me dado a oportunidade de apresentar e discutir sobre este trabalho dentro do referido programa de mestrado. Os questionamentos feitos naquela oportunidade me fizeram amadurecer e ajudaram a aprimorar este trabalho.

Agradeço aos professores do curso de Licenciatura em Educação Física da UFAL, *Campus* Arapiraca, Arnaldo Cunha, Bruno Macêdo e Joelma Albuquerque, bem como à técnica Tatiane Machado, ao Educador Físico Rafinha, e aos professores Patrick Brito e Tobiyas Mariz, por terem me disponibilizado os equipamentos e espaço necessários para a realização dos experimentos.

Agradeço aos amigos e professores Eliane Cavalcanti e Márcio Aurélio que, enquanto diretores do *Campus* Arapiraca, sempre me ajudaram com os processos burocráticos para afastamentos e realização da pesquisa dentro do *campus*.

Agradeço ao secretário Francisco Cabral, do Comitê de Ética em Pesquisa da UFAL, que me ajudou bastante em relação aos documentos e procedimentos necessários para aprovação dos experimentos. Agradeço ao amigo e psicólogo Gilberto Júnior por ter me auxiliado em algumas discussões sobre análise de conteúdo.

Agradeço aos amigos que fiz no Laboratório Embbeded e na COPIN, que foram (e são) amigos para além do mundo acadêmico: Athayde Neto, Carolina Nogueira, Catuxe Oliveira, Kézia Oliveira, Lenardo Chaves, Leonardo Sampaio, Leonardo Soares, Marco Rosner, Maxwell Oliveira e Michel Dias. Agradeço também aos amigos que fiz fora do laboratório, companheiros de doutorado: Gustavo Soares e João Arthur. Em especial, agradeço a Gustavo e a Marco por sempre terem sido prestativos em tudo. Obrigado, amigos! Não posso deixar de mencionar minha amiga *Aninhá* (irmã de Gustavo). Obrigado também!

Agradeço aos meus grandes amigos e irmãos Flávio e Glauber que me acolheram em sua

casa quando fui morar em Campina Grande.

Agradeço aos amigos que fiz quando fui morar perto da universidade: Edgard “Queiroz”, Gregory “George”, Leonardo “Brother” e Paulinho. Muitas conversas sobre a vida me fizeram ver as coisas sob outra perspectiva e aliviaram a carga de estresse. *All izz well.*

Agradeço aos casais de amigos que me proporcionaram finais de semana de boas conversas e muitas gargalhadas: Alice e Fred, Arissa e Mateus, Clara e Hyggo, e Michele e Kyller.

Agradeço aos professores (e ex-professores) do curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), *Campus* Arapiraca, por terem assumido minhas disciplinas enquanto me encontrava afastado e por terem me ajudado com críticas sobre o trabalho. São eles: Afonso, Almir, André, Barbosa, Fabiane, Marcelo, Mário, Paes, Pablo, Patrick, Raquel, Rodolfo, Rômulo, Tércio e Thiago. Agradeço também à professora Tereza Albuquerque pela alegria contagiante de todos os dias no *Campus* Arapiraca.

Agradeço à Dona Tieta e ao Seu Evandro por terem não apenas me servido os almoços diariamente, mas também por sempre terem se preocupado comigo. Fui muito bem alimentado em Campina Grande!

Agradeço aos amigos de conversas cheias de polêmicas, sem compromisso e com muita cerveja. Foram eles que não me deixaram ficar sóbrio nas sextas à noite: Danilo, Gustavo, João, Kyller, Marco e Mateus. Não agradeço a Glauber por que ele sempre tinha que voltar para casa cedo. Muito menos a Flávio por que “Dengo” nem o deixava sair com a gente. Agradeço ao meu amigo Fabrício, da época do LabPetri, pela estadia na semana da defesa e pelas discussões políticas que me tiraram um pouco da tensão pré-defesa.

Agradeço aos meus grandes amigos de Alagoas com quem tive o privilégio de dividir angústias, raivas, desesperos, frustrações e algumas felicidades por conta do doutorado: Fred Bublitz, Glauber Vinícius, Leandro Sales, Leonardo Medeiros e Thiago Sales. Muito obrigado a todos por terem sempre me escutado e me entendido. Agradeço também ao amigo Álvaro Álvares.

Agradeço muito especialmente à minha amiga e irmã campinense Carolina Medeiros que me aturou por quase todos os finais de semana em que estive em Campina Grande. Muito obrigado, querida! Aprendi muito com você. Agradeço também à minha amiga Lidiane e à Dona Ceíça, mãe de Carol, pela torcida.

Agradeço aos amigos que fiz em Campina Grande, fora do âmbito universitário: Andréia,

Fábio (Molusco), Joyce, Kalina e Maraísa. Agradeço também aos meus amigos de basquete da UFCG: Cajuru, Cleyton, Diego, Herbert, Paulo, Renan e Ruan.

Agradeço ao meu irmão Neymar e ao meu amigo Alan Pedro por sempre terem se preocupado e a este último por ter me dado conselhos em relação ao doutorado nestes anos. Agradeço aos meus amigos Alexandre Lino, André Almeida, Camila Cavalcante, Eanes Torres, Emerson Malungo, Emerson Memessu e Nádia Milena, que mesmo distantes, de alguma forma estiveram próximos.

Agradeço às minhas amigas “de São Paulo” que sempre me acolheram quando precisei ficar por lá: Adrielly, Belle, Fran e Panda.

Agradeço aos meus amigos de Arapiraca que me escutaram muitas vezes falar de minhas ideias (inclusive a ideia inicial deste trabalho) e me ajudaram com perguntas que me fizeram refletir bastante: Bernardo, Bob, Claudinho, Gilberto, Gustavo Prado, Nancinho, Koxa, Raninho, Tiago, Toinho, Toshiba, Varany e Zennon.

Agradeço aos amigos de ciclismo, natação e triatlo que se mostraram interessados neste trabalho e se colocaram à disposição para ajudar no que fosse necessário: Alandson, Carlos, Felipe, Gean, Jeremias, Koxa, Leandro, Régis, Ricardo Feitosa, Paulo, Tadeu e Wanderson. Enfim, agradeço aos grupos de ciclismo *Só! Rolé* e de natação/triatlo *Cia da Natacão*.

Agradeço à minha namorada Anne por ter sido compreensiva e por ter me dado apoio fundamental na fase de escrita da tese.

Agradeço a todo o pessoal da Copin: professores Hyggo, Nazareno e Franklin, e técnicas administrativas Aninha, Paloma, Rebeqa e Vera. Muito obrigado pela atenção e paciência.

Agradeço à CAPES e à UFAL por terem parcialmente financiado este trabalho.

Por fim, agradeço imensamente aos sujeitos que participaram do processo de avaliação deste trabalho. Agradeço tanto aos sujeitos que se submeteram ao processo de avaliação física e corrida na esteira ergométrica quanto aos profissionais que participaram da fase de simulação e da fase de testes em campo. Infelizmente não posso citar os nomes destas pessoas devido às regras definidas pelo Conselho Nacional de Saúde. Sem estas pessoas, a avaliação não poderia ter ocorrido. Muitíssimo obrigado!