

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 Allex 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 Allex da Silva Oliveira, maio de 2015

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

O48u	<p>Oliveira, Elthon Allex 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 Allex da Silva Oliveira. – Campina Grande, 2015. 139f. : il. color.</p> <p>Tese (Doutorado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2015.</p> <p>"Orientação: Prof. Dr. Leandro Dias da Silva, Prof. Dr. Hyggo Oliveira de Almeida".</p> <p>Referências.</p> <p>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.</p>
------	---

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**

*Ygg Oliveira de Almeida*  
**HYGGO OLIVEIRA DE ALMEIDA, D.Sc, UFCG**  
Orientador(a)

*Leandro Dias da Silva*  
**LEANDRO DIAS DA SILVA, D.Sc, UFAL**  
Orientador(a)

*Antonio Marcus Nogueira Lima*  
**ANTONIO MARCUS NOGUEIRA LIMA, Dr., UFCG**  
Examinador(a)

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

*Angele Perkusich*  
**ANGELO PERKUSICH, D.Sc, UFCG**  
Examinador(a)

*Kyller Costa Gorgônio*  
**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 Allex 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.

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, consequentemente, 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 Tobyas 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 Embedded e na COPIN, que foram (e são) amigos para além do mundo acadêmico: Athayde Neto, Carolina Nogueira, Catuxé 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 is 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 Ceça, 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 as 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 *SóIRolé* e de natação/triatlo *Cia da Natação*.

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, Rebeka 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!

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto de Cuidados de Saúde . . . . .	3
1.2	Pesquisas em <i>Cuidado de Saúde Pervasivo</i> . . . . .	7
1.3	Problemática . . . . .	11
1.4	Objetivo . . . . .	14
1.5	Relevância . . . . .	16
1.6	Organização do Documento . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>19</b>
2.1	Sistemas a Eventos Discretos . . . . .	19
2.2	Modelagem de SED's . . . . .	20
2.2.1	Linguagens . . . . .	20
2.2.2	Autômatos Finitos Determinísticos . . . . .	21
2.3	Fisiologia do Exercício . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Método para Definição do Programa de Exercícios</b>	<b>30</b>
3.1	Visão Geral da Solução . . . . .	30
3.2	Formalização do Contexto . . . . .	32
3.3	Contexto × Autômato . . . . .	35
3.4	Método para a Definição do Programa de Exercício . . . . .	37
3.5	Um Exemplo . . . . .	41
3.6	Especificação usando estados proibidos e marcados . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Avaliação</b>	<b>52</b>
4.1	Avaliação com o Profissional de Saúde . . . . .	52

4.1.1	Materiais e Métodos . . . . .	53
4.1.2	Resultados . . . . .	55
4.1.3	Discussão . . . . .	66
4.2	Verificação Formal do Modelo de Referência . . . . .	68
4.3	Viabilidade Técnica do Método . . . . .	72
4.4	Experimentos em Campo . . . . .	75
4.4.1	Materiais e Métodos . . . . .	75
4.4.2	Resultados . . . . .	80
4.4.3	Discussão . . . . .	91
4.5	Aspectos Éticos . . . . .	94
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>97</b>
5.1	Resultados e Discussão . . . . .	97
5.2	Limitações do Trabalho . . . . .	100
5.3	Trabalhos Futuros . . . . .	102
5.4	Considerações Finais . . . . .	103
<b>A</b>	<b>Instrumento de Coleta de Dados</b>	<b>118</b>
<b>B</b>	<b>Modelo UPPAAL Completo</b>	<b>123</b>
<b>C</b>	<b>Ferramentas Desenvolvidas</b>	<b>124</b>
C.1	Aplicação para o Profissional de Saúde . . . . .	124
C.2	Aplicação para o Indivíduo . . . . .	130
<b>D</b>	<b>Termos de Consentimento Livre e Esclarecido</b>	<b>136</b>

# **Lista de Símbolos**

ACM - *Association for Computing Machinery*

API - *Application Programming Interface*

bpm - *Batimentos por minuto*

IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

km/h - *Quilômetros por hora*

mmHg - *Milímetros de mercúrio*

OMS - *Organização Mundial de Saúde*

SBC - *Sociedade Brasileira de Computação*

TCLE - *Termo de Consentimento Livre e Esclarecido*

# Listas de Figuras

1.1	Arquitetura para sistemas de <i>cuidado de saúde pervasivo</i> . . . . .	12
3.1	Arquitetura geral da solução. . . . .	31
3.2	Exemplo de autômato/modelo com duas variáveis fisiológicas. . . . .	36
3.3	Etapas para a definição do programa de exercício customizado. . . . .	37
3.4	Exemplo de modelo para a frequência cardíaca. . . . .	40
3.5	Modelo para a variável fisiológica <i>frequência cardíaca</i> . . . . .	43
3.6	Modelo para a variável comportamental <i>velocidade</i> . . . . .	44
3.7	Modelo para a variável ambiental <i>temperatura do ambiente</i> . . . . .	44
3.8	Autômato referente ao objetivo definido pelo profissional. . . . .	45
3.9	Modelo geral resultante da composição paralela dos modelos das variáveis. . . . .	46
3.10	Modelo resultante do produto <i>modelo geral</i> $\times$ <i>especificação</i> . . . . .	47
3.11	Modelo de referência gerado a partir dos modelos <i>geral</i> e <i>especificação</i> . . .	48
4.1	Modelo de referência construído pelo profissional de saúde. . . . .	56
4.2	Recorte do autômato criado usando a ferramenta UPPAAL. . . . .	71
4.3	Tela principal da ferramenta desktop. . . . .	73
4.4	Tela principal da ferramenta móvel. . . . .	74
4.5	Equipamentos utilizados em substituição aos sensores. . . . .	76
4.6	Modelo para a variável <i>temperatura do ambiente</i> . . . . .	80
4.7	Modelo para a variável <i>umidade relativa do ar</i> . . . . .	80
4.8	Modelo para a variável <i>temperatura corporal</i> . . . . .	80
4.9	Modelo para a variável <i>velocidade</i> . . . . .	81
4.10	Modelo para a variável <i>distância</i> . . . . .	81
4.11	Modelo para a variável <i>frequência cardíaca</i> . . . . .	81

C.1	Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de atributos. . . . .	125
C.2	Tela voltada ao cadastro de atributos. . . . .	126
C.3	Tela voltada à adição de variáveis previamente cadastradas e respectiva definição de frequência de leitura. . . . .	126
C.4	Tela voltada a criação de especificações usando expressões regulares. . . . .	127
C.5	Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de estados de uma determinada variável. . . . .	128
C.6	Tela voltada à criação de estados para uma determinada variável. . . . .	128
C.7	Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de transições e de mensagens ao indivíduo. . . . .	129
C.8	Tela voltada à definição de transições para uma determinada variável e mensagens ao indivíduo. . . . .	130
C.9	Tela principal da aplicação móvel voltada ao indivíduo. . . . .	131
C.10	Tela para seleção do modelo de referência. . . . .	132
C.11	Tela apresentando os três modelos de referência embutidos na ferramenta. .	133
C.12	Tela de exibição das recomendações ao indivíduo. . . . .	134
C.13	Mensagem indicando o indivíduo dentro de um estado objetivo: <i>Keep Going!</i> . .	135

# **Lista de Tabelas**

3.1	Estados e seus intervalos de valores das variáveis escolhidas. . . . .	42
4.1	Traços de execução apresentados ao especialista humano. . . . .	59
4.2	Intervalos de valores comuns para todos os sujeitos. . . . .	82
4.3	Intervalos de valores específicos para cada sujeito. . . . .	83
4.4	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 1</i> . . . . .	84
4.5	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 2</i> . . . . .	85
4.6	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 3</i> . . . . .	86
4.7	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 4</i> . . . . .	86
4.8	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 5</i> . . . . .	87
4.9	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 6</i> . . . . .	88
4.10	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 7</i> . . . . .	89
4.11	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 8</i> . . . . .	90
4.12	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 9</i> . . . . .	95
4.13	Valores de variáveis e recomendações para o <i>sujeito 10</i> . . . . .	96

# **Lista de Códigos Fonte**

3.1	Procedimento 1 para classificação de estados. . . . .	50
3.2	Procedimento 2 para classificação de estados. . . . .	50
3.3	Procedimento 3 para classificação de estados. . . . .	50
4.1	Código utilizado junto com o modelo UPPAAL. . . . .	71

# Capítulo 1

## Introdução

Nas últimas décadas tem-se observado um avanço significativo na quantidade de equipamentos eletrônicos capazes de ler, armazenar e processar informações. Equipamentos que antes não possuíam tais funcionalidades passam a ocupar posição de destaque no dia-a-dia das pessoas. Tarefas que antes eram executadas apenas em computadores *desktop* fixos nos domicílios, hoje podem ser feitas em *smartphones*, *tablets* e relógios, por exemplo. De posse destes dispositivos, usuários permanecem cada vez mais conectados uns aos outros por meio de redes sem fio, possibilitando a mobilidade destes usuários conectados, inclusive numa escala global.

O surgimento de todas estas inovações tem convergido para viabilizar um paradigma de computação proposto em 1991 por Mark Weiser [109] chamado de *Computação Pervasiva*. Neste paradigma, não apenas dispositivos móveis têm capacidade de processamento e comunicação, mas também vários outros objetos de uso diário, tais como: roupas, relógios, óculos, dentre outros. A combinação do processamento e a troca de informações entre tais objetos deve promover a adaptação do ambiente de acordo com as necessidades e desejos do usuário sem que este, necessariamente, delibere sobre isso.

Diversos pesquisadores da área de computação pervasiva têm se preocupado com a área de cuidados de saúde. A combinação destas duas áreas tem sido denominada de *cuidado de saúde pervasivo*. Esta área tem sido apontada como uma área emergente de grandes impacto e significância [103].

As pesquisas em *cuidado de saúde pervasivo* têm sido motivadas por estudos que apontam que, ao tratarem de suas doenças em casa, pacientes passam a ter uma qualidade de vida

melhor do que se fossem acompanhados em hospitais [32; 110]. Além disso, alguns exames geralmente sofrem alterações devido à ansiedade gerada nos pacientes quando estão em ambientes clínicos. Desta forma, a acurácia no diagnóstico de um determinado quadro clínico pode ser maior se a medição da mesma variável for feita no paciente ao longo do dia, em vez de apenas uma única vez numa clínica [68].

Como posto por Bardram [11], *cuidado de saúde pervasivo* representa uma nova área de pesquisa na academia e na indústria de computação. Uma evidência disto é a quantidade de simpósios e conferências, apoiadas por entidades como SBC [98], ACM [1] e IEEE [49], que vêm divulgando resultados de pesquisas na área, como são os casos do *SBCUP* [99], *UbiComp* [106] e *PerCom* [91], respectivamente. Outros eventos também têm emergido com o mesmo foco, ou relacionado, como são os casos do *PervasiveHealth* [92] e do *FHIES* [36].

No contexto de revistas científicas destacam-se as revistas *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* e *Journal of the American Medical Informatics Association*. Além destas, outras revistas têm *special issues* na área, tais como: *IEEE Transactions on Industrial Informatics (special issue: Healthcare Systems and Technologies)* e *Sensors (special issue: Cyber-Physical Systems)*.

Há na literatura trabalhos propondo que médicos, enfermeiros e outros profissionais de saúde acompanhem pacientes à distância, mais especificamente em seus respectivos lares [40; 95; 104]. Outros propõem ferramentas de auxílio ao diagnóstico de situações de risco eminentes ou mesmo de problemas respiratórios durante as fases de sono [18; 55; 83; 97; 112]. Uma característica comum presente nos trabalhos é o desenvolvimento de soluções centradas no paciente, provocando uma maior participação deste no processo de tratamento ou prevenção.



Por se tratar de um contexto crítico, ferramentas desenvolvidas para lidar diretamente com a saúde de pessoas, principalmente aquelas sem supervisão humana, podem causar danos irreversíveis aos pacientes, inclusive a morte. Assim sendo, tais ferramentas devem ser consideradas sistemas críticos. Ou seja, é esperado que o desenvolvimento delas conte com um suporte que forneça garantias de que a solução implementada se comportará conforme especificado pelos profissionais de saúde. Esta garantia pode ser obtida por meio do uso de técnicas formais de verificação de programas.

Diante do cenário exposto, é proposto no presente trabalho o uso de modelos formais na

concepção de sistemas para *cuidado de saúde pervasivo*. O domínio de aplicação abordado neste trabalho é o auxílio à prática de exercícios físicos definidos por profissionais de saúde.

## 1.1 Contexto de Cuidados de Saúde

De acordo com um relatório emitido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) [82], entre os anos de 2000 e 2011, a porcentagem média de mortes no mundo em decorrência de doenças crônicas não transmissíveis foi de 63%, evidenciando uma tendência de aumento com 68% em 2012 [70]. Em relação ao Brasil, este percentual de mortes é ainda maior, chegando a 74% [29]. Tais doenças são caracterizadas por um longo e continuado tratamento e, em geral, com uma progressão lenta [82]. Dentre as doenças crônicas não transmissíveis incluem-se: doenças cardíacas, doenças renais, câncer, diabetes, hipertensão, doenças respiratórias crônicas e obesidade.

A prevalência de obesidade é considerada um importante problema de saúde pública tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento [2]. Além disso, está diretamente relacionada ao desenvolvimento de outras doenças crônicas, tais como doenças cardíacas, diabetes e hipertensão [30; 34]. Em países desenvolvidos e em alguns países emergentes, incluindo o Brasil, os custos empregados no tratamento destas doenças, em decorrência da obesidade, são significativos. No Brasil, aproximadamente 10% do dinheiro investido no Sistema Único de Saúde é em decorrência de sobrepeso ou obesidade [6]. A gravidade da situação é tamanha que nos Estados Unidos os custos com pacientes obesos ultrapassou os custos com fumantes [23; 73].

Os principais fatores de risco conhecidos ligados à obesidade são o tabagismo, a inatividade física, o consumo não saudável de alimentos e o abuso no consumo do álcool. Dentre estes, destaca-se a inatividade física. Atividades físicas diárias possibilitam inúmeros benefícios à saúde do indivíduo. Alguns destes benefícios são o controle de peso e a redução de doenças cardiovasculares, de diabetes *mellitus* tipo 2 e de riscos de câncer [16]. Desta forma, pode-se afirmar que a prática diária de exercícios físicos contribui para a redução de riscos de morte por doenças crônicas não transmissíveis. Inclusive, a própria OMS, em seu Plano de Ação Global [81], indica a promoção de exercícios físicos para tal fim.

Entretanto, as pessoas não buscam se exercitar apenas quando estão doentes ou obesas. A

busca pela prática de exercícios físicos se dá por diversas razões. Segundo estudo apresentado por Balbinotti et al. [8], a procura por exercícios físicos pode se dar por razões estéticas, por um melhor condicionamento físico, por lazer e por questões de saúde, que pode ter um caráter preventivo ou de tratamento. Tantas razões diferentes fazem com que não seja possível eleger um ambiente padrão, ou estabelecer ambientes parecidos, onde a prática do exercício deva ser feita exatamente da mesma maneira. Uma determinada pessoa pode se exercitar, de diferentes formas, numa academia de musculação, em seu próprio lar ou até mesmo em parques públicos.

Segundo Melzer [69], apesar dos benefícios, alguns cuidados devem ser considerados durante a prática regular de exercícios físicos, buscando evitar problemas, tais como: lesões musculoesqueléticas, desidratação, insolação, morte súbita cardíaca e estresse oxidativo. Tais problemas ocorrem quase sempre devido à prática não supervisionada e/ou irresponsável de exercícios físicos. Além disso, Melzer [69] expõe que estes tipos de práticas podem ser extremamente prejudiciais, e até letais, para pessoas saudáveis e não saudáveis devido a possíveis distúrbios fisiológicos.

A fim de prevenir tais distúrbios, espera-se que o indivíduo realize os exercícios físicos de acordo com recomendações definidas por profissionais de saúde (e.g., médicos, fisioterapeutas, educadores físicos). Um problema é que, do ponto de vista fisiológico, cada indivíduo é único. Obviamente que, para determinados fins, dois indivíduos podem apresentar quadros clínicos extremamente parecidos, podendo assim ser tratados da mesma forma. Contudo, em geral, dois indivíduos quaisquer não podem seguir as mesmas recomendações durante a prática de seus respectivos exercícios físicos. Isto se dá devido às suas especificidades. As recomendações são personalizadas de acordo com vários fatores, dentre eles: idade, peso, histórico e predisposição para determinadas doenças, condicionamento físico e estado de saúde [38].

Por exemplo, suponha um indivíduo chamado Fulano com 50 anos de idade e acometido por alguma doença cardiovascular. Suponha também outro indivíduo chamado Beltrano com 21 anos de idade e em perfeitas condições de saúde. As condições de cada um destes indivíduos para uma prática segura de exercícios físicos são distintas. Uma frequência cardíaca superior a 120 *bpm* (batimentos por minuto) durante um treinamento contrarresistência (musculação) pode representar a Fulano uma situação extremamente perigosa. Já para

Beltrano, a mesma situação pode ser considerada como um cenário normal e seguro.

Diante do exposto, há duas abordagens para que o indivíduo possa praticar de forma segura seus exercícios físicos seguindo as recomendações dadas pelo profissional de saúde. Como supradito, uma delas é ter sempre ao lado, durante as práticas, um profissional monitorando seus dados fisiológicos e tomando decisões sobre o que este indivíduo deve fazer baseado nas informações colhidas em tempo real.

A presença de um profissional supervisionando Fulano durante a prática de seu exercício físico poderia alertá-lo quando sua frequência cardíaca excedesse 120 *bpm*. Por supervisão, considera-se o monitoramento dos sinais biológicos. Desta forma, o profissional poderia recomendá-lo “*diminuir a intensidade do exercício*” ou até mesmo “*parar o exercício imediatamente*”. Já para Beltrano, abaixo do mesmo limiar de frequência cardíaca, a recomendação poderia ser outra: “*continue neste ritmo*” ou “*acelere*”. Além disso, as recomendações para Beltrano poderiam ser as mesmas que para Fulano, desde que a frequência cardíaca monitorada para o primeiro se encontrasse em um nível superior.

Um problema com esta abordagem é o custo financeiro em se manter um *personal trainer* dedicado a apenas um indivíduo no horário e no lugar que lhe forem convenientes. Além disso, num cenário ideal, deve haver supervisão não apenas durante a prática de exercícios físicos, mas também no período pós-exercício, denominado período de recuperação.

Ainda que se abstraia a inviabilidade econômica, não há profissionais de saúde suficientes para acompanhar pessoalmente todos os indivíduos durante a prática de exercícios. Outro aspecto a ser considerado é a grande quantidade de informações a ser avaliada em tempo real, uma vez que mais de uma variável fisiológica pode ser considerada e cada variável pode ter níveis diferentes de classificação (e.g., seguro, limítrofe, perigoso) com seus respectivos intervalos de valores. Como apresentado por Cummings et al. [26], a sobrecarga de informações interfere de forma negativa no processo de tomada de decisão humano.

Outra abordagem para que se possa praticar exercícios de forma segura é procurar um profissional de saúde. Ao procurar o profissional, o indivíduo receberá todas as recomendações necessárias depois de feita a análise devida. Nesta abordagem, Fulano e Beltrano devem ter em mente todos os seus limites, bem como devem monitorar suas próprias informações fisiológicas.

Quando se trata de monitorar apenas frequência cardíaca e/ou pressão arterial (sistólica

ou diastólica), já existem produtos comercializados que possibilitam a definição de limites perigosos e seguros de forma customizada. Assim, o dispositivo é quem alerta o indivíduo caso encontre-se fora de algum limiar considerado seguro, cabendo ainda ao indivíduo a tomada de decisão sobre qual ação deve seguir.

Contudo, o profissional de saúde pode definir outras variáveis, consideradas igualmente importantes ao caso, a serem monitoradas durante o exercício físico que não sejam apenas a frequência cardíaca e a pressão arterial. Outras variáveis importantes podem ser a temperatura corporal, o nível de açúcar no sangue, dentre outras. Então, uma vez que o indivíduo tenha acesso a todos os seus dados fisiológicos durante o exercício físico, por meio de sensores espalhados pelo seu corpo, ele deve ter em mente todas as recomendações sobre todos os limites para todas as variáveis definidas pelo profissional de saúde para ele. Considerando apenas as variáveis fisiológicas, já ocorreria o mesmo problema apontado anteriormente na primeira abordagem em relação à sobrecarga de informações. Nesta abordagem, com automonitoramento, a situação é ainda pior. Ou seja, o indivíduo em tese não detém *a priori* o conhecimento do especialista, o profissional de saúde. Outro problema com esta segunda abordagem é que, por esquecimento, os indivíduos geralmente acabam por não seguir as recomendações do especialista [96].

Para tornar ambas as abordagens ainda mais complexas, informações sobre o ambiente no qual o indivíduo se exercita, tais como temperatura ou até mesmo altitude, podem ser também importantes no contexto. Como colocado por Wilmhurst [111] e Fujiwara et al. [41], variáveis ambientais podem afetar de forma direta as condições fisiológicas do indivíduo. Além das variáveis fisiológicas e ambientais, variáveis comportamentais podem ser levadas em consideração para uma definição mais precisa sobre o estado do indivíduo. Segundo Miranda et al. [71], por exemplo, diferentes posições corporais podem provocar diferentes medições de algumas variáveis fisiológicas. Assim sendo, diferentes classes de variáveis (fisiológicas, ambientais e comportamentais) podem ser levadas em consideração objetivando definir o programa de exercícios físicos de forma mais precisa.

Durante o processo de prática de exercício físico regular, a depender da disciplina do indivíduo em relação às recomendações do profissional de saúde, seu condicionamento físico tende a melhorar com o tempo. Assim, os limites definidos pelo médico tendem a se tornar obsoletos. Da mesma forma ocorre com um indivíduo com um excelente condicionamento

físico. Ao deixar de se exercitar por um longo período, seus limites considerados seguros podem sofrer alterações. Estas situações ilustram a possibilidade de alterações no perfil do indivíduo.

Soluções computacionais voltadas ao monitoramento e controle fisiológicos devem minimizar, quando não resolver, os problemas mencionados. Levando em consideração tais problemas, do ponto de vista de requisitos, uma solução deve prover suporte para:

- definição das variáveis relevantes, ao contexto do indivíduo, a serem monitoradas e controladas;
- definição da dinâmica de mudanças de estados destas variáveis;
- uso de diferentes classes de variáveis (fisiológicas, ambientais e comportamentais);
- definição das restrições físicas específicas do indivíduo;
- evolução das condições físicas do indivíduo e, consequentemente, de novas restrições físicas;
- supervisão individualizada; e
- mobilidade.

Uma solução de *cuidado de saúde pervasivo* pode ser utilizada para monitorar o indivíduo durante a prática de exercícios, permitindo um acompanhamento personalizado em qualquer lugar, devido à característica de mobilidade. No contexto deste trabalho, pretende-se instrumentar a solução de *cuidado de saúde pervasivo* com modelos formais que permitam também auxiliar o indivíduo a desempenhar a atividade seguindo o programa de exercício definido pelo profissional de saúde.

## 1.2 Pesquisas em *Cuidado de Saúde Pervasivo*

Diversas pesquisas para o desenvolvimento tecnológico vêm sendo feitas na área de *cuidado de saúde*. A maior parte delas é desenvolvida objetivando a detecção de doenças e de problemas relacionados a elas a partir de sinais biológicos [18; 55; 83; 97; 112]. Há também pesquisas voltadas à gestão de tratamentos medicamentosos [88; 107], que fazem uso de

monitoramento diário do paciente. Já no contexto de exercícios físicos, há trabalhos voltados ao acompanhamento do indivíduo na prática dos exercícios. As pesquisas focam desde a análise de composição química do suor excretado durante a prática de exercícios [25; 27; 74] até o controle de fadiga muscular [57]. Muitos trabalhos também vêm sendo desenvolvidos na linha de tecnologia de software voltada para reabilitação [37; 44; 48; 58; 59; 63].

O trabalho apresentado por Mattila et al. [63] descreve um sistema de medição associado a ferramentas de software instaladas em *smartphones* que possibilita a pacientes participar de processos de reabilitação cardíaca em suas próprias casas. Neste trabalho, informações como frequência cardíaca e atividades de movimento são enviadas aos profissionais de saúde para análise. Dada sua natureza, este trabalho não se aplica à prática geral de exercícios físicos. Além disso, leva em consideração apenas a frequência cardíaca e atividades de movimento (como passos numa caminhada).

No trabalho apresentado por Finkelstein et al. [37], é descrita a implementação da chamada *tele-reabilitação* física em pacientes idosos. Mais especificamente, idosos com esclerose múltipla são tratados por meio de exercícios seguros em bicicleta. Para isso, é apresentado o sistema *iBikE*, que consiste num dispositivo para pedalagem e um acelerômetro sem fio com três eixos. Ele se comunica com um servidor para verificar se o exercício está de acordo com a prescrição mais atual do paciente. Esta prescrição leva em consideração apenas as informações sobre frequência cardíaca máxima, frequência cardíaca alvo, velocidade máxima e tempo de duração para a atividade. O sistema obtém informações de frequência cardíaca e velocidade por meio de conexão *bluetooth* com o acelerômetro e monitores de ECG (electrocardiograma). No caso de não haver conectividade, o paciente não tem acesso ao seu perfil e à sua prescrição, o que torna inviável a prática do exercício. Além disso, há apenas dois tipos de mensagens ao usuário: “*DO YOUR EXERCISE*” é apresentada no começo do exercício, e “*FINISH*”, que é apresentada quando a meta estabelecida para o paciente em sua prescrição é alcançada. Desta forma, não há quaisquer outros tipos de recomendação que poderiam tornar o processo mais customizado.

Outro trabalho com foco em pessoas idosas é apresentado por Fasola e Mataric [35]. Neste caso, o projeto e a implementação de um robô social são descritos. Tal robô é utilizado para o acompanhamento de atividades físicas executadas por pacientes sentados, usando apenas os braços. Ao monitorar os exercícios, os pacientes são motivados a completar as tarefas

e a melhorar o desempenho nas atividades. O robô apresentado processa o movimento dos pacientes por meio do processamento das imagens obtidas. Algumas tarefas são passadas aos pacientes, como uma certa sequência de movimentos. Ao acertar o movimento solicitado, é retornada ao paciente uma pontuação motivando a continuar. Ao errar o movimento, o robô prontamente executa o movimento para que o paciente possa repeti-lo. Esta pesquisa, assim como algumas já mencionadas neste documento, trabalha centrada no usuário, dando *respostas* a este em tempo real. Esta característica também está presente na solução proposta neste documento. Uma desvantagem com o uso do robô é a necessidade de o indivíduo ter que se deslocar ao ambiente clínico para realizar os exercícios. Além disso, a abordagem utilizada não permite que mais de um indivíduo possa se exercitar ao mesmo tempo, visto que o robô processa os movimentos de apenas uma pessoa.

No contexto de tecnologia de software voltada ao acompanhamento de exercícios, destacam-se os trabalhos [35; 44] que foram desenvolvidos para ambientes clínicos e lares. Outros trabalhos de acompanhamento permitem uma maior mobilidade do indivíduo [4; 46]. Os dados coletados sobre o indivíduo, geralmente por meio de sensores, podem ser processados localmente ou remotamente. Após este processamento, há duas possibilidades. Os dados processados são analisados remotamente por algum especialista para que possa emitir parecer sobre o estado do indivíduo, ou o próprio equipamento do indivíduo pode emitir mensagens para ele.

O trabalho apresentado por Klompmaker et al. [58] apresenta o desenho de interfaces de usuários sensíveis ao contexto. O trabalho é baseado numa arquitetura orientada a serviços e é direcionado apenas a pacientes com doenças cardíacas em reabilitação. Apesar de possibilitar o uso de diversos sensores, o trabalho faz uso de apenas algumas informações fisiológicas. Neste trabalho, o treino é supervisionado remotamente, o que necessariamente demanda a atenção do profissional de saúde durante a prática do exercício. Contudo, o processamento das informações e as emissões de mensagens podem até ocorrer somente após o treinamento, o que impossibilita uma prática supervisionada segura.

Já o *ExerTrek* [46] propõe uma maneira de monitorar a saúde do paciente sob uma perspectiva cardíaca. Para isso, são usados monitores de exercícios comuns encontrados no mercado atualmente. Este trabalho avalia níveis personalizados de aptidão física: alerta de sobrecarga de exercício ou nível de exercício abaixo do necessário com fins de melhora de

condicionamento físico do indivíduo. Entretanto, apresenta algumas limitações, tais como: avalia apenas a frequência cardíaca; apesar de avaliar níveis personalizados de aptidão física, utiliza os mesmos intervalos de valores de frequência cardíaca para todos os usuários, o que não contempla as especificidades de cada indivíduo e pode ocasionar situações de perigo a pacientes com problemas de saúde.

Conforme supradito, o uso de *respostas ao usuário* tem se mostrado benéfico nas soluções de cuidado de saúde por tornarem estas centradas no indivíduo, o que provoca maior participação deste nos processos em questão. Valcke e Chizeck [107] apresentam um algoritmo para administração da aplicação de medicamentos em coração humano. Segundo os autores, o algoritmo conseguiu otimizar a dosagem requerida por meio de monitoramento contínuo das respostas do paciente de acordo com sua especificidade.

Em outro trabalho [20], a intensidade do exercício é monitorada com o objetivo de evitar quedas drásticas de glicose no sangue de diabéticos, evitando assim hipoglicemia. A partir da análise da frequência cardíaca e do  $VO_2$ , o sistema proposto passa a administrar insulina. Já no trabalho apresentado por Koenig et al. [59], é definido um controle de carga cognitiva em pacientes em reabilitação pós-derrame durante um treino de marcha assistido por robô. A carga cognitiva é quantificada e controlada para decidir sobre o nível de dificuldade da tarefa fisioterápica a submeter o paciente, aumentando assim o aprendizado motor e, consequentemente, a eficácia do treino.

Apesar de lidarem diretamente com a saúde de pessoas, com base em seus artigos publicados, os trabalhos apresentados até o momento não fazem uso de métodos que garantam a segurança de seus usuários, tais como o uso de modelos matemáticos. Qualquer projeto que pretenda monitorar e acompanhar indivíduos durante algum processo de reabilitação ou durante a prática de exercícios físicos deve ser submetido a alguma técnica que possa atestar que sua execução se dará conforme projeto por seus idealizadores.

Nas pesquisas desenvolvidas por Jiang et al. [51; 52; 53], métodos formais são utilizados para aumentar a confiabilidade de marcapassos. Em [51], o processo de verificação e validação é aplicado no software para marcapassos. Em [52], um ambiente de teste em laço fechado é proposto para gerar testes baseados em modelo para as operações do marcapasso. Já em [53], é usado um estudo de caso para apresentar o processo de modelagem e verificação de algoritmos de controle para dispositivos médicos.

Panjic et al. [87] apresenta uma ferramenta de tradução de autômatos temporizados em um fluxograma de estados. Tal ferramenta facilita a conversão automática de modelos verificados que podem ser simulados e testados. A tradução de um modelo de marcapasso é apresentada como estudo de caso. Neste estudo, código C funcional é gerado a partir do fluxograma e testado numa plataforma de hardware.

Arny et al. [5] e Pajic et al. [86] fazem uso de métodos formais como forma de garantir a segurança de pacientes no uso de dispositivos médicos. No primeiro, é apresentada a implementação de um controle para administração de anestesia em pacientes durante operações cirúrgicas. Já no segundo, a técnica de verificação de modelos é utilizada para garantir segurança durante a administração de medicamentos. O método combina análise baseada em simulação de um modelo detalhado do sistema que contém a dinâmica contínua do paciente à verificação de modelos de um modelo mais abstrato descrito com autômatos temporizados.

Muitos dos trabalhos apresentados aqui focam apenas no monitoramento e no acompanhamento de atividades e exercícios do indivíduo, ainda assim demandando a atenção do profissional durante o processo. Outros acompanham tratamentos medicamentosos e atividades de reabilitação dando algum tipo de resposta automática aos indivíduos, mesmo que não totalmente customizado. Já outros fazem uso de métodos formais como forma de garantir a segurança. Contudo, tal nível de segurança é proporcionado apenas a usuários de equipamentos médicos, tal como marcapasso. Entretanto, nenhum deles objetiva manter a conformidade entre recomendações médicas e prática de exercícios físicos levando em consideração as diferentes classes de variáveis supraditas.

## 1.3 Problemática

Segundo o consórcio *Continua* [21], um sistema para *cuidado de saúde pervasivo* pode compreender um verdadeiro ecossistema com diversos dispositivos para os mais distintos propósitos, tais como balanças, frequencímetros, *smartphones*, TV's e computadores. Na Figura 1.1 é ilustrada uma arquitetura geralmente apresentada em trabalhos que focam na referida área [9; 14; 61; 89]. Como se pode ver, alguns equipamentos estão envolvidos, sendo os dispositivos de medição de sinais biológicos genericamente denominados de sensores.

Num cenário sob a presença de um sistema pervasivo, dados sobre o indivíduo são coleta-

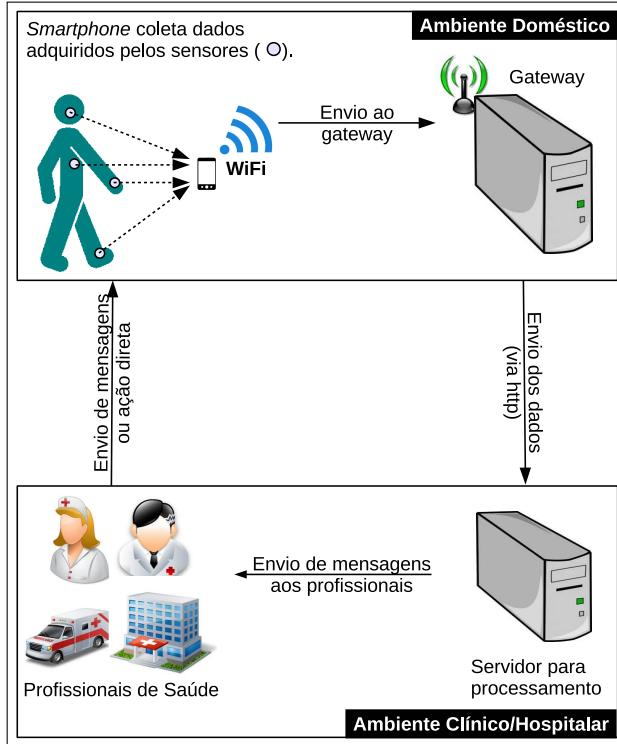


Figura 1.1: Arquitetura para sistemas de *cuidado de saúde pervasivo*.

dos a todo instante por sensores. Por meio de alguma conexão usando tecnologia bluetooth ou zigbee, por exemplo, tais informações são enviadas a dispositivos para processamento e armazenamento, geralmente um computador *desktop*, ou até mesmo o *smartphone* do sujeito. A partir deste computador (ou *smartphone*), que funciona como um *gateway*, há duas possibilidades para os dados armazenados. Tais possibilidades são descritas a seguir e podem ser executadas de forma complementar.

A primeira delas é o processamento local e, a partir dele, o acionamento de dispositivos atuadores. Estes dispositivos são aparelhos que respondem aos dados coletados e analisados com o objetivo de adaptar as condições do ambiente de acordo com regras pré-estabelecidas. Ao detectar que o peso do indivíduo aumentou nas últimas três medições, informações sobre os perigos do sobrepeso e obesidade poderiam ser exibidas numa TV durante alguma propaganda, por exemplo. Diversos trabalhos já foram desenvolvidos usando processo similar [62; 88; 93; 113]. Pode-se sumarizar este processo em três etapas básicas: coleta de dados, processamento e resposta ao usuário. Esta resposta pode estar na forma de adaptação do ambiente.

A segunda possibilidade é o processamento remoto dos dados e envio de mensagens ao

conjunto de profissionais de saúde ligados ao contexto do problema. Nesta abordagem, o processamento de dados serviria como uma ferramenta de auxílio aos profissionais de saúde, tais como: médicos, gestores de hospitais e equipes de salvamento. Trabalhos já foram desenvolvidos usando processo similar [45; 85; 94; 105]. Pode-se summarizar este processo em quatro etapas básicas: coleta de dados, processamento, resposta aos profissionais envolvidos e ação destes sobre o indivíduo.

Contudo, algumas questões surgem na concepção de sistemas de cuidado de saúde. São elas:

- *Como estruturar o conhecimento do especialista sobre cada caso específico e sobre os tipos de dados coletados?*

Sob uma perspectiva fisiológica, cada indivíduo é único. Assim, é preciso possibilitar a aplicação diferenciada da solução para que ações mais customizadas possam ser tomadas e resultados mais precisos possam ser obtidos.

- *Como aplicar o conhecimento do especialista sobre os dados coletados e, a partir daí, extrair recomendações em tempo real para o indivíduo?*

É preciso que o conhecimento do profissional da saúde seja estruturado de forma que possibilite inferências automáticas. Mesmo que a quantidade de dados colhidos periodicamente varie de acordo com o desejo do médico e as necessidades do indivíduo.

- *Como garantir que nenhum cenário indesejável aconteça no processo de coleta-processamento-recomendação?*

Em sistemas de *cuidado de saúde pervasivo*, a falha numa das etapas pode provocar um problema sério à saúde, inclusive letal. Assim, é preciso que mecanismos sejam disponibilizados para a verificação e a garantia de certas propriedades.

- *Como garantir que os cenários seguros ocorram no processo de coleta-processamento-recomendação?*

Tão importante quanto garantir a ausência de problemas é garantir a existência e execução de determinadas configurações.

Soluções de *cuidado de saúde pervasivo* podem ser usadas para resolver algumas destas questões. Por exemplo, numa aplicação onde há o monitoramento do indivíduo, os dados

geralmente são coletados e enviados à equipe de profissionais de saúde que pode executar ações no mesmo instante ou posteriormente. No contexto de programas de exercícios físicos, é essencial que o indivíduo obtenha uma avaliação do profissional em vários momentos durante o exercício.

Além disso, modelos formais podem ser agregados à solução como forma de fornecer garantias de confiabilidade sobre aspectos considerados críticos, fazendo parte do funcionamento do sistema e não apenas como ferramenta de modelagem abstrata para simulação e verificação de componentes. Como mencionado anteriormente, por lidar diretamente com a saúde de pessoas, é imprescindível que a solução seja formalmente verificada para se garantir propriedades comportamentais.

Assim sendo, não há trabalhos que suportem o seguinte problema enunciado:

*- Como prover uma solução de cuidado de saúde pervasivo no contexto de exercícios físicos, que não conte com a supervisão constante do especialista, para manutenção de conformidade entre o comportamento do indivíduo e as recomendações definidas pelo profissional de saúde?*

## 1.4 Objetivo

O objetivo deste trabalho é prover um método baseado em modelos formais, no contexto de *cuidado de saúde pervasivo*, para guiar o indivíduo e manter seu comportamento em conformidade com as recomendações médicas **durante a prática de exercícios físicos**. Por indivíduo, neste trabalho, entenda-se como qualquer pessoa apta a praticar exercícios físicos, acometido ou não por alguma doença.

Em outras palavras, é proposta uma solução computacional para o controle fisiológico do indivíduo durante a execução de programas de exercícios físicos definidos por profissionais de saúde sem que haja supervisão *in loco* de tais profissionais. Mais especificamente, propõe-se:

1. definir um método para que o indivíduo possa ser guiado com segurança durante a prática de exercícios físicos, sem a presença do profissional;
2. desenvolver o suporte ferramental para o método proposto; e
3. avaliar o método proposto.

Considerando-se estes objetivos específicos, o presente trabalho faz uso de alguns conceitos de Computação Pervasiva [109] em relação ao uso do sistema de software por parte do usuário praticante do exercício. Assume-se a presença de sensores não invasivos para a coleta periódica de dados fisiológicos (e.g., pressão arterial, temperatura corporal), ambientais (e.g., altitude, umidade relativa do ar) e comportamentais (e.g., parado, em pé). Tais dados são avaliados em comparação a um modelo de referência do indivíduo construído usando uma linguagem formal.

Este modelo de referência representa o conhecimento do profissional de saúde (programa/objetivo) para manter um sistema fisiológico específico dentro de um estado seguro dados o perfil do indivíduo, seu exercício físico e o ambiente no qual este executa exercício. Neste cenário, podem ser levadas em consideração e monitoradas variáveis fisiológicas, comportamentais e ambientais.

A linguagem formal utilizada para construção do modelo de referência é a de autômatos finitos [47]. Cada uma das variáveis definidas pelo profissional de saúde pode ser modelada separadamente. Após este processo de modelagem, um modelo maior e mais complexo representando todo o sistema pode ser obtido de forma automática, por composição, a partir dos modelos menores.



As vantagens de se usar autômatos como representação do conhecimento, em vez de sistemas especialistas [50], por exemplo, são: (i) decomposição do conhecimento em partes (modelos) menores e mais simples; (ii) construção do conhecimento para o cenário a partir dos modelos menores de forma automática; (iii) facilidade na evolução/atualização do conhecimento a partir da inclusão, exclusão ou alteração de algum dos modelos construídos; (iv) preservação de propriedades no modelo final a partir da composição dos modelos menores; e, (v) possibilidade de se aplicar a técnica de verificação de modelos [7; 54]. Esta última vantagem pode ser usada para garantir propriedades de vivacidade e segurança [3]. Além disso, pode ser usada também para garantir a completude do modelo, e consequentemente do conhecimento extraído do profissional, em relação à propriedades descritas usando lógica temporal.

Segundo Brailsford e Schmidt [17], dada a complexidade de um ser humano, seu comportamento pode ser incorporado em modelos até certo ponto. Ainda segundo Schmidt [101], o ser humano é visto como uma unidade psicossomática com capacidades cognitivas embutida

em um ambiente social, o que torna seu comportamento altamente complexo. Apesar de tamanha complexidade, no trabalho aqui apresentado, o formalismo de autômatos se mostra suficientemente expressivo para o problema em questão.

Dada a abstração usada pelos profissionais de saúde no processo de definição de programas de exercícios físicos e no acompanhamento de pessoas durante a prática destes exercícios [42], a interação entre as ações executadas durante os exercícios e respostas esperadas pelo sistema fisiológico humano assemelham-se com o que ocorre num sistema a eventos discreto [22]. Nestes tipos de sistemas, a ocorrência de eventos (ou execução de alguma ação) resulta numa mudança de estado do sistema.

É sabido que os conceitos envolvidos na construção do modelo de referência extrapolam os conhecimentos do profissional de saúde. E, apesar de uma ferramenta ter sido desenvolvida para a construção do modelo de referência, não é objetivo deste trabalho que ela seja uma solução de software definitiva para a interação com o profissional. É pretendido que esta ferramenta sirva apenas como parte da prova de conceitos do trabalho aqui apresentado.

## 1.5 Relevância

Diversas soluções vêm sendo propostas para o monitoramento pervasivo de indivíduos. Boa parte destes trabalhos foca na detecção de doenças e alertas para equipes de profissionais de saúde num contexto geral, atividades do dia-a-dia. Outros trabalhos focam no acompanhamento de exercícios durante processos de reabilitação. Tais trabalhos monitoram geralmente um conjunto fixo de variáveis, sendo estas apenas fisiológicas. Além disso, não há trabalhos voltados ao acompanhamento personalizado, e de fácil evolução, de exercícios físicos que envolvam variáveis de diferentes classes.

A relevância do trabalho aqui apresentado advém dos benefícios que o monitoramento e controle fisiológicos proporcionam para garantir uma prática eficaz e segura de exercícios físicos. Por meio do monitoramento e controle fisiológicos, é possível identificar situações de risco ao indivíduo, garantindo uma prática segura dos exercícios. É possível também identificar situações nas quais, devido ao estado fisiológico, o exercício físico pode não estar surtindo o efeito desejado no indivíduo, garantindo uma prática eficaz do mesmo.

O profissional de saúde pode definir o modelo de referência do indivíduo baseado no

seu perfil fisiológico naquele momento, no exercício físico que o indivíduo deseja realizar e no local onde o indivíduo irá executar tal exercício. Em outras palavras, tal modelo conterá parte do conhecimento do profissional de saúde para aquela situação específica e acompanhará o indivíduo na forma de modelo matemático. Como o indivíduo carregará consigo uma ferramenta capaz de interpretar este modelo, não precisará ter em mente todas as recomendações sobre os níveis de medição de todas as variáveis consideradas importantes para o seu caso. Assim, diferentemente do que ocorre geralmente, o indivíduo terá em mãos todas as recomendações sobre os limites de todas as variáveis a serem monitoradas, contudo, poderá se concentrar apenas na prática do exercício em si.

Vale a pena ressaltar que o referido trabalho não pretende substituir a presença do profissional de saúde. Como posto por Sneha e Varshney [102], sistemas como serviços para o monitoramento de indivíduos e processamento de informações para a tomada de decisões no contexto de *cuidados de saúde* são desenvolvidos com o objetivo de auxiliar o profissional, e não com o objetivo de substituí-lo. Deve estar claro aqui que a definição para um controle fisiológico seguro se dá apenas com a presença e participação efetiva do profissional de cuidado de saúde. O trabalho, aqui apresentado, elimina a necessidade de um especialista presente durante a prática do exercício físico e no período pós-exercício. Isto possibilita que mais pessoas possam usufruir do conhecimento do especialista ao mesmo tempo e em diferentes localidades.

## 1.6 Organização do Documento

O restante deste documento está organizado como descrito a seguir.

- **Capítulo 2** - São apresentados os conceitos relacionados ao trabalho e considerados necessários para o entendimento do mesmo.
- **Capítulo 3** - São apresentadas as formalizações dos elementos que compõem o sistema. Neste capítulo também é apresentado o método proposto para a definição de controle fisiológico juntamente com um exemplo.
- **Capítulo 4** - São apresentadas quatro etapas que compuseram o processo de avaliação deste trabalho, bem como os materiais e os procedimentos utilizados para tal.

- **Capítulo 5** - São apresentadas as discussões, limitações e considerações finais sobre este trabalho. Além disso, possíveis trabalhos futuros são enumerados.

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentados os conceitos relacionados aos sistemas a eventos discretos, aos autômatos finitos determinísticos e à fisiologia do exercício. Estes conceitos são considerados importantes para o entendimento desse trabalho. Mais especificamente, o conceito de sistema a eventos discretos é introduzido bem como são apresentadas a formalização de linguagem e uma extensão para a formalização de autômatos finitos. Algumas operações sobre autômatos usadas para a geração do modelo de referência do indivíduo também são apresentadas.

### 2.1 Sistemas a Eventos Discretos

Quando um sistema apresentar estados que podem ser descritos por um conjunto discreto e as transições entre estes estados forem observadas apenas em momentos discretos no tempo, diz-se que tais transições estão relacionadas a *eventos* e que este sistema é um *sistema a eventos discretos*.

Os termos *sistema* e *evento* são entes primitivos os quais não possuem definição formal. De acordo com a IEEE [76], sistema é uma combinação de componentes que agem em conjunto para desempenhar uma função que não seria possível com nenhuma das partes individuais. Já evento pode ser entendido como alguma ação tomada de forma instantânea e que causa a transição de um estado a outro.

Num sistema a eventos discretos, as transições entre os estados não estão em sincronia com algum tipo de relógio. Tais transições ocorrem de forma instantânea e apenas na ocorrência de algum evento. Assim, pode-se definir *sistema a eventos discretos* de acordo com [22]:

**Definição 1 (Sistema a eventos discretos)** *Ou simplesmente SED. É um sistema com conjunto de estados discreto e dirigido por eventos, isto é, sua evolução de estados depende exclusivamente da ocorrência de eventos discretos assíncronos sobre o tempo.*

## 2.2 Modelagem de SED's

O comportamento de um SED pode ser descrito em termos de sequência de eventos da forma  $e_1e_2\dots e_n$ , sendo  $n \in \mathbb{N}$ . Esta sequência especifica a ordem na qual os eventos ocorrem no decorrer do tempo, mas sem prover os instantes de tempo associados a cada evento. Tal descrição é o nível lógico de abstração do comportamento do SED e pode ser formalmente modelado por uma linguagem. A linguagem, por sua vez, deve ser representada por um formalismo livre de ambiguidades, no caso deste trabalho, um formalismo não temporizado.

### 2.2.1 Linguagens

Conforme supracitado, a mudança de estados de um SED evolui a partir da ocorrência de eventos  $e$ . Para cada SED, existe um conjunto de eventos  $E$  associado a ele. Este conjunto é denominado também por *alfabeto* de uma linguagem e as possíveis sequências de eventos para o sistema são chamadas de *palavras* desta linguagem. Desta forma, podem-se estabelecer certos critérios que definam a linguagem que o sistema pode reconhecer. Ou seja, qualquer palavra (sequência de eventos) que não pertença à linguagem definida para um certo SED, representa um comportamento que o sistema **não** executa.

Uma palavra que representa a ocorrência de nenhum evento é chamada de *palavra vazia* e é denotada pelo símbolo  $\varepsilon$ . A quantidade de ocorrências de eventos numa palavra  $w$  é o tamanho desta palavra e é denotado por  $|w|$ . Por convenção,  $|\varepsilon| = 0$ .

**Definição 2 (Linguagem)** *Uma linguagem definida sobre um conjunto de eventos  $E$  é um conjunto de palavras de tamanho finito formadas de eventos em  $E$ .*

Seja  $E = \{a,b,c\}$  um conjunto de eventos. Um exemplo de linguagem sobre  $E$  é  $L = \{bab, caba, aabb, aca\}$ . É importante notar que qualquer linguagem  $L$  sobre um conjunto de eventos qualquer  $E$  é subconjunto do fecho de Kleene do conjunto  $E$ , ou seja,  $L \subseteq E^*$ .

Dado que linguagens são conjuntos, todas as operações clássicas de conjuntos (união, interseção, complemento, etc) são aplicáveis sobre as linguagens. Além destas, há outras, a saber:

- *Fecho de Kleene:* Seja  $L = E^*$ . Assim,

$$L = \{\varepsilon\} \cup E \cup EE \cup EEE \cup \dots$$

- *Concatenação:* Sejam  $L_1, L_2 \subseteq E^*$ . Assim,

$$L_1 L_2 = \{s_1 s_2 \in E^* : (s_1 \in L_1) \wedge (s_2 \in L_2)\}.$$

- *Fechamento de prefixo:* Seja  $L \subseteq E^*$ . Assim,

$$\bar{L} = \{s \in E^* : \exists t \in E^* (st \in L)\}.$$

- *Pós-linguagem:* Sejam  $L \subseteq E^*$  e  $w \in L$ . Assim, a pós-linguagem de  $L$  após  $w$ , denotada por  $L/w$ , é a linguagem

$$L/w = \{t \in E^* : wt \in L\}$$

Por definição,  $L/w = \emptyset$  se  $w \notin \bar{L}$ .

Para representação e manipulação de linguagens, pode-se usar um conjunto de estruturas que podem ser manipuladas por meio de operações bem definidas. Neste trabalho, é usado o formalismo de *autômatos finitos determinísticos* como arcabouço para representação e manipulação de linguagens. Autômatos são usados na resolução de problemas que pertencem ao comportamento lógico dos SED's.

### 2.2.2 Autômatos Finitos Determinísticos

Um autômato é um dispositivo capaz de representar uma linguagem de acordo com regras bem definidas. Um *autômato finito determinístico* é formalmente definido pela Definição 3.

**Definição 3 (Autômato finito determinístico)** *Um autômato finito determinístico, ou simplesmente AFD, denotado por  $G$ , é uma 5-tupla*

$$G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m),$$

onde:

- $Q$  é o conjunto finito de estados;
- $\Sigma$  é o alfabeto finito, também chamado de conjunto finito de eventos;
- $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$  é a função, geralmente parcial, de transição;
- $q_0$  é o estado inicial; e
- $Q_m \subseteq Q$  é o conjunto de estados marcados, também chamados de estados de aceitação ou estados finais.

Um autômato  $G$  opera da seguinte maneira. Ele começa em seu estado inicial  $q_0$  e na ocorrência de algum evento  $e \in \Sigma$ , ele executa uma transição mudando ao estado  $\delta(q_0, e) \in Q$ .

É conveniente estender a função de transição  $\delta$  do domínio  $Q \times \Sigma$  ao domínio  $Q \times \Sigma^*$  da seguinte maneira recursiva:

$$\delta'(q, \varepsilon) = q$$

$$\delta'(q, we) = \delta'(\delta'(q, w), e) \text{ para } w \in \Sigma^* \text{ e } e \in \Sigma$$

Desta forma, pode-se usar a função  $\delta'$  diretamente com palavras (sequências de eventos), mesmo que a palavra represente um único evento ou até mesmo nenhum, palavra vazia.

Para executar as operações de composição paralela e produto síncrono, a serem apresentadas, é preciso acrescentar na tupla do AFD uma função  $\Gamma$ .  $\Gamma : Q \rightarrow 2^\Sigma$  é a função de eventos ativos<sup>1</sup> num certo estado e pode ser omitida, pois pode ser definida em função de  $\delta$ .

A partir das definições apresentadas, pode-se definir os conceitos de *linguagem gerada* e *linguagem marcada*, Definição 4 e Definição 5, respectivamente.

**Definição 4 (Linguagem gerada)** A linguagem gerada pelo AFD  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$  é

$$L(G) = \{w \in \Sigma^* : \delta(q_0, w) \in Q\}.$$

---

<sup>1</sup>Um evento  $e$  é dito ativo num estado  $q$  quando  $\delta(q, e)$  é definida.

**Definição 5 (Linguagem marcada)** A linguagem marcada pelo AFD  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$  é

$$L_m(G) = \{w \in \Sigma^* : \delta(q_0, w) \in Q_m\}.$$

Pelas definições apresentadas, é fácil observar que para qualquer autômato  $G$ , a linguagem marcada é subconjunto da linguagem gerada:  $L_m(G) \subseteq L(G)$ .

Algumas operações sobre autômatos são necessárias para a construção e análise de modelos de sistemas a eventos discretos. Algumas operações são unárias enquanto que outras são binárias. Estas últimas operações são utilizadas para se construir, automaticamente, modelos de sistemas completos a partir dos modelos dos componentes individuais. Todas as operações são apresentadas a seguir.

### Parte acessível

Aplicando a operação de parte acessível a um autômato  $G$ , denotada por  $Ac(G)$ , obtém-se como resultado um novo autômato onde todos os estados não acessíveis a partir do estado inicial, no autômato original, estão excluídos. Todas as transições de entrada e de saída dos estados apagados também são removidas. Formalmente, para um AFD  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ , tem-se que:

$$Ac(G) = (Q_{ac}, \Sigma, \delta_{ac}, q_0, Q_{ac,m}), \text{ onde:}$$

$$Q_{ac} = \{q \in Q : \exists w \in \Sigma^* \mid \delta(q_0, w) = q\};$$

$$Q_{ac,m} = Q_m \cap Q_{ac}; \text{ e}$$

$\delta_{ac} = \delta|_{Q_{ac} \times \Sigma \rightarrow Q_{ac}}$ , que significa a restrição do domínio da função de transição ao menor domínio dos estados acessíveis  $Q_{ac}$ .

### Parte co-acessível

Aplicando a operação de parte co-acessível a um autômato  $G$ , denotada por  $CoAc(G)$ , obtém-se como resultado um novo autômato onde todos os estados a partir dos quais não se pode chegar num estado de aceitação, no autômato original, estão excluídos. Todas as transições de entrada e de saída dos estados apagados também são removidos. Formalmente, para um AFD  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ , tem-se que:

$$CoAc(G) = (Q_{coac}, \Sigma, \delta_{coac}, q_{0,coac}, Q_m), \text{ onde:}$$

$$\begin{aligned} Q_{coac} &= \{q \in Q : \exists w \in \Sigma^* \mid \delta(q, w) \in Q_m\}; \\ q_{0,coac} &= q_0 \text{ se } q_0 \in Q_{coac}, \text{ ou } q_{0,coac} \text{ é indefinido, caso contrário; e} \\ \delta_{coac} &= \delta|_{Q_{coac} \times \Sigma \rightarrow Q_{coac}}. \end{aligned}$$

### Operação Trim

A operação *Trim* aplicada a um autômato  $G$ , denotada por  $Trim(G)$ , resulta num autômato acessível e co-acessível ao mesmo tempo. Esta operação é definida por

$$Trim(G) = Ac(CoAC(G)).$$

### Complemento

A operação de complemento sobre um autômato  $G$ , denotada por  $Comp(G)$ , produz um novo autômato que reconhece uma nova linguagem  $L = \Sigma_G^* \setminus L(G)$ , onde  $\Sigma_G$  é o alfabeto de  $G$  e  $L(G)$  a linguagem gerada por  $G$ . A execução desta operação é dada em duas etapas.

Primeiramente, para um AFD  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m)$ , é preciso tornar a função  $\delta$  total. A nova função é denotada por  $\delta_{tot}$ . Isto é feito adicionando um novo estado ( $q_d$ ) a  $Q$ . Assim,  $\forall e \in \Sigma, \forall q \in Q$ ,

$$\delta_{tot}(q, e) = \begin{cases} q_d & \text{se } \delta(q, e) \text{ for indefinido,} \\ \delta(q, e) & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

No segundo passo, todos os estados não marcados de  $G$  passam a ser marcados em  $Comp(G)$ , incluindo o novo estado  $q_d$ . Todos os estados marcados de  $G$  passam a ser estados não marcados em  $Comp(G)$ . Assim, formalmente, o complemento de  $G$  é

$$Comp(G) = (Q \cup \{q_d\}, \Sigma, \delta_{tot}, q_0, (Q \cup \{q_d\}) \setminus Q_m).$$

### Produto

O produto de dois autômatos  $G_1$  e  $G_2$ , denotado por  $G_1 \times G_2$ , é o autômato

$$Ac(Q_1 \times Q_2, \Sigma_1 \cup \Sigma_2, \Gamma_{1 \times 2}, \delta, (q_{01}, q_{02}), Q_{m1} \times Q_{m2})$$

onde  $\Gamma_{1 \times 2}(q_1, q_2) = \Gamma_1(q_1) \cap \Gamma_2(q_2)$  e

$$\delta((q_1, q_2), e) = \begin{cases} (\delta(q_1, e), \delta(q_2, e)) & \text{se } e \in \Gamma_{1 \times 2}(q_1, q_2), \\ \text{indefinido} & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

### Composição paralela

A composição paralela de dois autômatos  $G_1$  e  $G_2$ , denotado por  $G_1 \parallel G_2$ , é o autômato

$$Ac(Q_1 \times Q_2, \Sigma_1 \cup \Sigma_2, \Gamma_{1\parallel 2}, \delta, (q_{01}, q_{02}), Q_{m1} \times Q_{m2})$$

onde  $\Gamma_{1\parallel 2}(q_1, q_2) = (\Gamma_1(q_1) \cap \Gamma_2(q_2)) \cup (\Gamma_1(q_1) \setminus \Sigma_2) \cup (\Gamma_2(q_2) \setminus \Sigma_1)$  e

$$\delta((q_1, q_2), e) = \begin{cases} (\delta(q_1, e), \delta(q_2, e)) & \text{se } e \in \Gamma_1(q_1) \cap \Gamma_2(q_2), \\ (\delta(q_1, e), q_2) & \text{se } e \in \Gamma_1(q_1) \setminus \Sigma_2, \\ (q_1, \delta(q_2, e)) & \text{se } e \in \Gamma_2(q_2) \setminus \Sigma_1, \\ \text{indefinido} & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

### Autômato Estendido

Pela formalização de autômato apresentada pela Definição 3, os estados do autômato podem ser divididos entre estados marcados (ou de aceitação: conjunto  $Q_m$ ) e estados não marcados, cujo conjunto pode ser obtido pela subtração  $Q - Q_m$ .

Já neste trabalho, faz-se necessário classificar os estados do autômato não em dois conjuntos, mas em três: estados de aceitação, estados proibidos e estados toleráveis. Assim, é proposta a utilização de uma extensão para a formalização de autômatos. Tal extensão é apresentada pela Definição 6.

**Definição 6 (Autômato finito determinístico estendido)** *Um autômato finito determinístico estendido, ou simplesmente AFDe, denotado por  $G$ , é uma 6-tupla*

$$G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m, Q_p),$$

onde:

- os cinco primeiros elementos da tupla possuem a mesma semântica apresentada na Definição 3; e
- $Q_p \subseteq Q$  é o conjunto de estados proibidos, onde  $Q_p \cap Q_m = \emptyset$ .

O conjunto de estados toleráveis pode ser obtido a partir da subtração  $Q - (Q_p \cup Q_m)$ .

Por fim, vale a pena ressaltar que todas operações e conceitos apresentados para o formalismo de AFD também são aplicáveis ao AFDe.

### Máquina de Mealy

Na prática, durante a execução da ferramenta móvel apresentada no Apêndice C, o autômato funciona de forma similar ao formalismo de Máquina de Mealy, apresentado pela Definição 7 [47].

**Definição 7 (Máquina de Mealy)** *Uma Máquina de Mealy, denotada por  $M$ , é uma 6-tupla*

$$M = (Q, \Sigma, \Delta, \delta, \lambda, q_0),$$

*onde:*

- $Q, \Sigma, \delta$  e  $q_0$  possuem a mesma semântica apresentada na Definição 3;
- $\Delta$  é um conjunto finito de símbolos, também chamado de alfabeto de saída; e
- $\lambda : Q \times \Sigma \rightarrow \Delta$  é a função de saída que mapeia um estado e um evento a um dos símbolos de saída.

Na execução da ferramenta, os símbolos de saída do conjunto  $\Delta$  são as recomendações exibidas ao sujeito em exercício físico.

## 2.3 Fisiologia do Exercício

A Fisiologia do Exercício, também chamada de Fisiologia do Esforço ou da Atividade Física, é uma área do conhecimento científico que estuda como o organismo se adapta fisiologicamente ao estresse agudo do exercício físico e ao estresse crônico do treinamento físico, conforme posto por Kenney et al. [56].

Segundo Forjaz e Tricoli [31], esta é uma área de conhecimento derivada da Fisiologia. Ela pode ser considerada uma das disciplinas mais tradicionais relacionadas à prática acadêmica e profissional da Educação Física e do Esporte em função destas áreas terem uma relação extremamente próxima com a Biologia. Além disso, para Pate e Durstine [90], à Fisiologia do Exercício é proposta a investigação sobre a interação entre os diferentes efeitos do exercício físico e a influência dos estressores ambientais.

As pesquisas nesta área lidam diretamente com variáveis fisiológicas e ambientais mensuráveis, tais como: frequência cardíaca, taxa respiratória, pressão arterial, temperatura corporal (da pele e interna), atividade elétrica muscular, temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, luminosidade, barulho, etc. Pesquisas realizadas na área de Fisiologia do Exercício constataram que há influências direta e indireta entre estas e outras variáveis.

## Pressão Arterial

Em geral, pessoas adultas com pressão arterial sistólica por volta de 120 mmHg (milímetros de mercúrio) e pressão arterial diastólica por volta de 80 mmHg são consideradas saudáveis [64]. Contudo, algumas situações podem alterar estes valores, tais como: exercícios de resistência e em ritmo estável.

A pressão arterial sistólica é o maior valor verificado durante a aferição de pressão arterial. Trata-se da medida de pressão arterial verificada quando da contração dimensional cardíaca para a impulsão sanguínea às partes corporais extracardíacas, indicativa da força do fluxo nas artérias. É ela quem proporciona uma estimativa do trabalho do coração e da força que o sangue exerce contra as paredes arteriais durante a sístole ventricular.

A pressão arterial diastólica é o menor valor verificado durante a aferição de pressão arterial. Trata-se da medida de pressão arterial verificada durante a fase de relaxamento do ciclo cardíaco. É ela quem indica a facilidade com que o sangue flui das arteríolas para dentro dos capilares.

Nos exercícios de resistência, feitos geralmente com pesos em academias de musculação, as pressões arteriais sistólica e diastólica aumentam bastante, chegando a dobrar de valor a depender da porcentagem da contração voluntária máxima. Já nos exercícios em ritmo estável (e.g.; trote, natação, ciclismo), a pressão arterial sobe e se estabiliza entre 140 a 160 mmHg.

A pressão sistólica pode inclusive cair um pouco abaixo desses valores com a continuação do exercício. Já a pressão diastólica se mantém estável durante todo este tipo de exercício.

## Temperatura Corporal

A temperatura corporal normal em seres humanos, também denominada normotermia ou eutermia, depende de alguns pontos como o local do corpo, a hora do dia e o nível de

atividade corporal. Dentre os possíveis locais do corpo que podem ser usados na medição da temperatura corporal, o ouvido é uma parte considerada adequada para se obter uma medição próxima a da temperatura interna. Além disso, se comparado ao reto, o ouvido representa uma parte não invasiva.

A temperatura corporal interna é fruto de um equilíbrio dinâmico entre os fatores que acrescentam e subtraem calor corporal [65]. Durante um exercício vigoroso em um ambiente quente e úmido, a temperatura interna sobe e o ganho de calor ultrapassa a perda. Por outro lado, a temperatura interna pode cair no frio, em repouso, quando a perda de calor ultrapassa a produção.

A umidade relativa do ar influencia diretamente o mecanismo de transpiração na regulação da temperatura [66; 65]. Com a umidade muito alta, o esfriamento corporal é minimizado. Pois, nessas condições, formam-se gotas de suor sobre a pele que acabam escorregando e caindo sem proporcionar qualquer efeito de esfriamento. Com umidade baixa, o ar pode receber considerável quantidade de umidade. Assim, a evaporação do líquido torna-se rápida, comprometendo também o esfriamento do corpo. Pois, o esfriamento corporal depende do suor presente na pele juntamente com o vapor presente próximo a ela.

Em resumo, a temperatura corporal é fruto da influência de diversos fatores, tais como: intensidade do exercício (atividade muscular), temperatura e umidade do ambiente, taxa de suor, etc. Em repouso, um ser humano apresenta uma temperatura corporal de  $36,5^{\circ}C$ . Esta temperatura pode chegar a  $40^{\circ}C$  durante uma atividade de alta intensidade, sendo considerada normal. Contudo, a depender da aptidão física, temperaturas elevadas podem levar o indivíduo a apresentar fadiga muscular.

Além disso, em um clima quente, o mecanismo de refrigeração dissipia calor metabólico durante o exercício. Isso faz com que as reservas líquidas do corpo sejam gastas, produzindo assim uma hipohidratação relativa. A transpiração excessiva provoca uma perda mais séria de líquido. Por consequência, pode ser causada uma insuficiência circulatória nos casos extremos, fazendo com que a temperatura interna suba até alcançar níveis letais.

## Frequência Cardíaca

A frequência cardíaca do indivíduo é influenciada diretamente pela prática de exercícios físicos, de forma aguda e de forma crônica [67]. Além disso, fatores externos como a

temperatura do ambiente podem influenciar indiretamente.

Com o aumento da temperatura, em conjunto com uma prática intensa de exercício, é provocada a desidratação do indivíduo por suor. Isto pode levar o sangue a um estado de viscosidade que, por sua vez, pode provocar uma maior resistência dificultando o fluxo sanguíneo. Esta dificuldade no fluxo obriga o coração a bater mais rapidamente de forma a compensar a deficiência temporária.

Diferentemente da pressão arterial e da temperatura corporal, a frequência cardíaca pode variar de indivíduo para indivíduo, a depender de sua aptidão física. Ou seja, os níveis de frequência cardíaca de um determinado indivíduo podem variar de acordo com a periodicidade com a qual o sujeito se exercita.

Além disso, os limiares da frequência cardíaca também estão ligados à intensidade com a qual os exercícios são executados. Desta forma, reduções na frequência cardíaca, em repouso ou em atividade, refletem a magnitude do aprimoramento induzido pelo treinamento. Ou seja, sujeitos que apresentem uma frequência cardíaca maior do que outros para um mesmo cenário possuem aptidão física pior que os últimos.

# Capítulo 3

## Método para Definição do Programa de Exercícios

Neste capítulo é apresentado o método para a definição do programa de exercícios que objetiva manter o indivíduo em conformidade com as recomendações do profissional de saúde durante a prática de exercícios físicos. Para que o programa de exercícios possa ser definido de forma mais precisa, é possível levar em consideração as classes de variáveis comportamentais e ambientais, além das fisiológicas. Na Seção 3.1 é apresentada uma visão geral da solução proposta. Após isto, na Seção 3.2 é apresentada a formalização das entidades envolvidas no contexto do usuário. A relação entre o contexto e o modelo é explanada na Seção 3.3. O método para definição do programa de exercícios é apresentado na Seção 3.4.

### 3.1 Visão Geral da Solução

Como mencionado no Capítulo 1, a presença de sensores não invasivos é assumida. Cada uma das três classes de variáveis pode ser monitorada por sensores específicos que coletam seus dados periodicamente. A periodicidade da leitura depende da natureza da variável. Assim sendo, uma determinada variável pode ser lida a cada cinco segundos enquanto que outra demande ser lida a cada 20 minutos. Estas leituras são coletadas por um servidor para que sejam processados.

Computadores pessoais, *tablets* e *smartphones* podem ser usados como servidores. Após o processamento dos dados, o servidor deve retornar uma resposta ao usuário. Qualquer tipo

de dispositivo com um *display* apropriado e que possa receber dados (e.g.; *smartphone*, TV, esteira ergométrica, etc) pode ser usado para exibir as mensagens com recomendações ao indivíduo. No caso do servidor ser um *smartphone*, as mensagens podem ser mostradas em sua própria tela sem que haja a necessidade de trocar dados com outra entidade. Na Figura 3.1 é apresentada a arquitetura geral da solução.

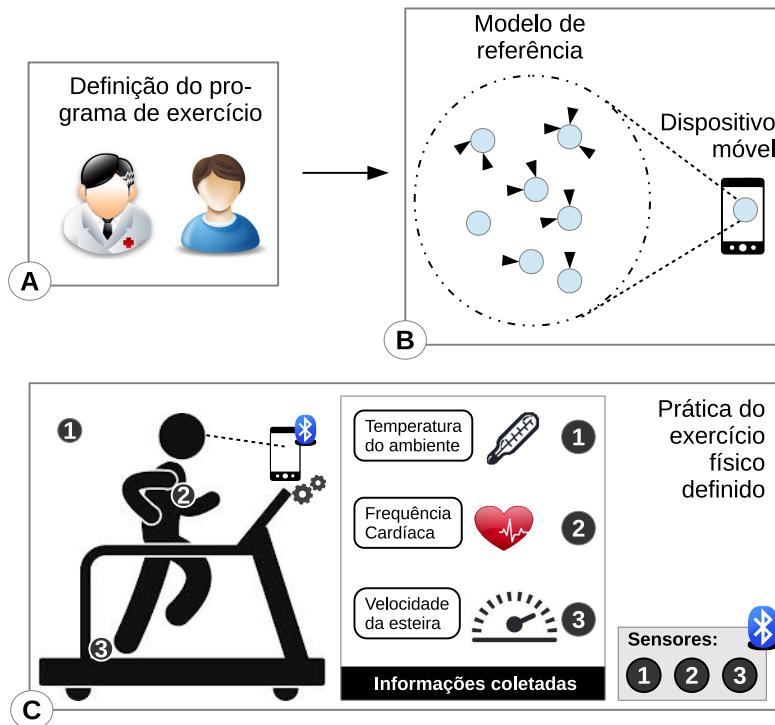


Figura 3.1: Arquitetura geral da solução.

Primeiramente (**A**), o profissional de saúde aplica ao indivíduo o método a ser descrito. A partir deste processo, auxiliado por computador, é gerado um *modelo de referência* na forma de um arquivo (**B**) específico às necessidades do indivíduo. Este modelo conterá o programa de exercício do indivíduo. O arquivo é carregado por uma aplicação, instalada no *smartphone* do indivíduo, que irá guiá-lo durante o exercício (**C**). Os dados das variáveis são obtidos por meio de comunicação entre os sensores e o *smartphone*.

De forma abstrata, cada vez que uma variável é lida, uma tupla com tamanho  $n$ , onde  $n$  é a quantidade de variáveis presentes no modelo, é adicionada ao topo de um pilha. A nova tupla difere-se da tupla anteriormente no topo da pilha apenas em relação às variáveis lidas no último momento. Cada posição da tupla diz respeito a um atributo do contexto. Desta forma, lendo o topo da pilha é possível verificar o estado atual do indivíduo. Além disso, ao final da

prática do exercício físico, a pilha conterá um histórico que poderá ser analisado diretamente pelo profissional de saúde, ou até mesmo pré-processado para a geração de gráficos, análise de padrões, etc. Esta manipulação (processamento) da pilha de tuplas não é preocupação deste trabalho.

Ao ler o topo da pilha, o estado atual do sistema (contexto) é localizado no modelo de referência. Se tal estado é considerado desejável, uma mensagem do tipo “ok” é apresentada ao indivíduo. Caso contrário, uma mensagem do tipo “não ok” seguida por uma sequência de ações, também chamada de caminho, é dada ao indivíduo no formato de mensagens de texto. É este caminho que pode levar o indivíduo de um estado considerado indesejável (perigoso ou não) a outro desejável. As ações que formam o caminho são os rótulos das transições que levam o indivíduo do estado de origem ao estado de destino.

## 3.2 Formalização do Contexto

Neste trabalho, por contexto, considera-se o conjunto de todas as variáveis envolvidas no cenário. Tais variáveis, também denominadas de atributos, podem ser classificadas em três classes distintas: ambiental, comportamental e fisiológica. As definições a seguir foram feitas baseadas na teoria dos espaços de contexto [84] e podem apresentar diferenças em relação ao trabalho original para que se adequem melhor à proposta deste trabalho.

**Definição 8 (Conjunto de atributos de contexto)** *O conjunto de atributos de contexto, denominado  $A_C$ , é o conjunto de variáveis consideradas relevantes ao cenário, no qual cada elemento  $a_C$  é definido pela tupla  $(v, n, d, r)$ , onde:*

- $v \in V$  é a classe da qual o atributo pertence;
- $n \in N$  é o nome do atributo;
- $d$  é um intervalo de valores no qual o valor atributo pode estar;
- $r \in R$  é a frequência de leituras por minuto feitas sobre o atributo de contexto; e
- $\forall a_{C_i} = (v_i, n_i, d_i, r_i), a_{C_j} = (v_j, n_j, d_j, r_j) \in A_C, (v_i = v_j) \rightarrow (n_i \neq n_j)$ .

**Definição 9 (Classes de atributos)** *Classes de atributo é o conjunto enumerado de rótulos, denominado  $V$ , usado para classificar os atributos de contexto e é definido por:*

$$V = \{ambiental, comportamental, fisiologico\}.$$

**Definição 10 (Nomes de atributos)** *Nomes de atributos é o conjunto enumerado de rótulos, denominado  $N$ , usado para nomear os atributos de contexto e é definido por:*

$$N = \{n : n \text{ é uma cadeia de caracteres alfa-numéricos}\}.$$

Conforme descrito na Definição 8, quaisquer dois atributos que pertençam à mesma classe de atributo  $V$  não podem possuir o mesmo nome.

**Definição 11 (Intervalo de valores de interesse)** *Um intervalo de valores de interesse, denominado  $d$ , é definido por:*

$$d = \begin{cases} \langle l, u \rangle, \text{ com } l, u \in \mathbb{R}, l < u & \text{se } d \text{ é um intervalo numérico contínuo,} \\ \langle l, u \rangle, \text{ com } l, u \in \mathbb{Z}, l < u & \text{se } d \text{ é um intervalo numérico discreto, e} \\ \text{enumeração de valores simbólicos} & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Podendo o intervalo numérico  $\langle l, u \rangle$  assumir uma das formas:  $[l, u]$ ,  $[l, u)$ ,  $(l, u]$  ou  $(l, u)$ .

**Definição 12 (Frequência de leitura)** *Uma frequência de leitura sobre um atributo, denominada  $r$ , é um elemento do conjunto  $R = \{x \in \mathbb{Q} : x > 0\}$ .*

Seguindo a Definição 12,  $r = 3$  significa que o atributo em questão tem seu valor lido numa taxa de três vezes por minuto, ou uma leitura a cada 20 segundos. Sendo  $r = \frac{1}{4}$ , o valor do atributo é lido a cada quatro minutos.

Seja  $\mathcal{R}$  uma relação de equivalência definida sobre  $A_C$ . Sejam também  $a_{C_i} = (v_i, n_i, d_i, r_i)$ ,  $a_{C_j} = (v_j, n_j, d_j, r_j) \in A_C$ . Usando as notações apresentadas por Scheinerman [100], define-se que

$$(a_{C_i}, a_{C_j}) \in \mathcal{R} \leftrightarrow (v_i = v_j).$$

De posse desta relação  $\mathcal{R}$  e da definição de classe de equivalência  $[x] = \{y \in A_C : y \mathcal{R} x\}$ , pode-se então definir os seguintes conjuntos:

- $E = [(ambiental, n, d, r)];$
- $B = [(comportamental, n, d, r)];$  e
- $F = [(fisiologico, n, d, r)].$

Sabendo-se que  $n$ ,  $d$ , e  $r$  são definidos, respectivamente, pelas Definições 10, 11 e 12.

Tais conjuntos são partes da partição  $C$  apresentada na Definição 13.

**Definição 13 (Contexto para programa de exercício)** *Um contexto para programa de exercício, denominado  $C$ , é uma partição sobre o conjunto de atributos de contexto  $A_C$  definido por:*

$$C = \{E, B, F\},$$

onde:

- E representa o conjunto de variáveis ambientais;
- B representa o conjunto de variáveis comportamentais;
- F representa o conjunto de variáveis fisiológicas; e
- por definição, E, B e F são disjuntos dois a dois.

É importante ressaltar que, por definição, uma partição de um conjunto não possui como parte o conjunto vazio,  $\emptyset \notin C$ . Todavia, para fins de usabilidade das ferramentas de software desenvolvidas, é possível que o profissional de saúde deseje ignorar as variáveis ambientais e comportamentais, e decida definir o programa de exercício apenas considerando variáveis fisiológicas. Sendo este o caso, ter-se-ia  $E = B = \emptyset$ .

Durante o processo de definição do programa de exercício do indivíduo, é preciso criar um autômato  $G$  para cada elemento  $a \in A_C$ . Assumindo  $a = (ambiental, altitude, [-10, 100], 12)$ <sup>1</sup>, cada estado  $q \in Q$  de  $G$  deve representar uma sub-faixa de valores do intervalo presente na tupla  $a$ . A distribuição de sub-faixas deve ser

---

<sup>1</sup>Onde o valor 0 (zero), para a variável altitude, representaria o nível do mar. Assim, valores negativos representariam níveis abaixo do nível do mar.

feita de tal forma que para qualquer valor da faixa original, haja um, e apenas um, estado correspondente no autômato  $G$ . Em outras palavras, deve haver uma função sobrejetora  $f : d \rightarrow Q$ .

O uso do formalismo de autômatos traz consigo algumas vantagens. Primeiro, para cada parte do problema em questão, é possível definir as regras específicas na forma de modelo. Por construção, as propriedades de cada parte são preservadas no modelo final, gerado usando operações como composição e produto, que descreve o cenário de forma geral.

Em segundo lugar, pelo modelo final ser gerado a partir de modelos menores, sua alteração/evolução é facilitada. Para isso, basta a adição (ou subtração) de modelos e posterior composição do novo modelo.

Por fim, o uso de modelos formais com o de autômatos possibilita a aplicação da técnica de verificação de modelos. Com esta técnica é possível verificar propriedades comportamentais para todas as possibilidades de execução do modelo, que no caso deste trabalho é a ferramenta usada para guiar o sujeito durante o exercício.

### 3.3 Contexto × Autômato

O estado do contexto pode ser visto como um conjunto de valores de todas as variáveis (*conjunto de atributos de contexto*) consideradas relevantes ao cenário. Com o propósito de facilitar a explicação dos exemplos, neste momento apenas variáveis fisiológicas são usadas.

Vale a pena ressaltar que o modelo matemático que servirá como referência ao indivíduo é construído por meio de uma ferramenta desenvolvida e apresentada no Apêndice C, *SupervisorD*. Na prática, o profissional de saúde pode decidir abstrair uma ou duas classes de variáveis durante a fase de definição do programa de exercício. Com isto, pode-se afirmar que usar apenas variáveis fisiológicas nos exemplos não difere de um possível caso real.

Na Figura 3.2 é apresentado um autômato como modelo de um caso simples. São levados em consideração apenas dois atributos, frequência cardíaca (medida em batimentos por minuto - *bpm*) e pressão arterial sistólica (medida em milímetros de mercúrio - *mmHg*). Cada um destes atributos apresentando apenas dois estados possíveis. Por isso, o modelo apresenta quatro estados, que representam as combinações de estados dos atributos presentes.

Para a frequência cardíaca, os valores no intervalo [70, 100] representam um estado bom

(no modelo, *good\_h*) para o indivíduo. Já o intervalo  $[100, +\infty)$  representa um estado ruim (no modelo, *bad\_h*). Já para a pressão arterial sistólica, valores lidos presentes no intervalo  $[90, 119]$  representam um estado bom (no modelo, *good\_p*) e  $(119, +\infty)$ , um estado ruim (no modelo, *bad\_p*) para o indivíduo.

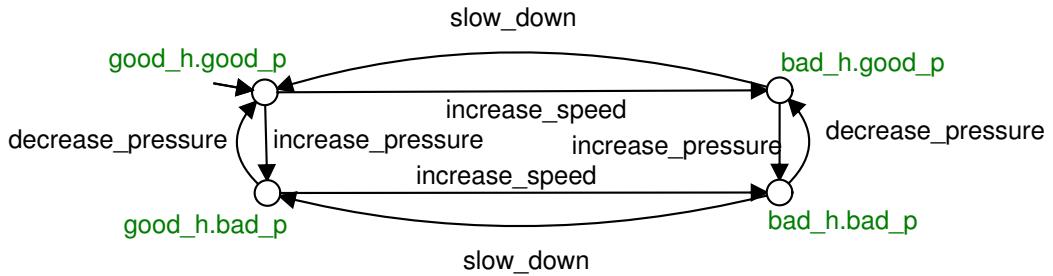


Figura 3.2: Exemplo de autômato/modelo com duas variáveis fisiológicas.

Ao apresentar uma frequência cardíaca de 115bpm e uma pressão de 95mmHg, de acordo com o modelo, o indivíduo se encontrará no estado *bad\_h.good\_p*. Assumindo que é objetivo do indivíduo se manter num estado no qual frequência cardíaca e pressão arterial estejam em estados bons, este deve seguir a recomendação presente no modelo: *slow\_down*.

Como pode ser visto na Figura 3.2, as inscrições presentes nas transições representam ações necessárias para que o indivíduo saia de um estado e alcance outro. No caso de um modelo maior, as mensagens presentes numa sequência de transições que fossem de um estado ruim para outro bom representariam as recomendações que seriam dadas ao indivíduo no caso de serem acompanhados por algum profissional de saúde.

É importante ressaltar que o estado do contexto de um indivíduo pode não ser composto apenas por variáveis fisiológicas, mas pode também ser enriquecido com outras duas classes de variáveis: ambiental e comportamental. Além disso, ações como *diminua o ritmo* ou *respire devagar* podem estar representadas pela ação genérica *slow\_down* e, assim, mudar o estado de um indivíduo de *bad\_h.good\_p* para *good\_h.good\_p*.

Estas ações são conhecidas por profissionais de saúde e são passadas aos indivíduos na forma de recomendação como em “*se você estiver correndo e sua frequência cardíaca for maior que 100 bpm, desacelere um pouco*”. Três partes podem ser observadas nesta recomendação: (i) uma informação comportamental (*correndo*), (ii) uma informação fisiológica (*frequência cardíaca for maior que 100 bpm*) e (iii) uma ação (*desacelere um pouco*). A ação *desacelere um pouco* pode ser usada para controlar o estado do indivíduo e deve ser executada

por este para que sua velocidade possa ser controlada e, consequentemente, também sua frequência cardíaca.

Neste exemplo, caso o profissional de saúde defina como objetivo que o indivíduo deva permanecer no estado *good\_h.good\_p* durante toda a prática do exercício e, durante uma leitura das variáveis, seja identificado que o indivíduo se encontra no estado *bad\_h.bad\_p*, é sugerido pelo modelo que o indivíduo execute as ações *slow\_down* e *decrease\_pressure* para que retorne àquele objetivo.

## 3.4 Método para a Definição do Programa de Exercício

A definição do programa de exercício do indivíduo apresentado neste trabalho consiste de cinco etapas. Cada etapa deve ser seguida baseada nas etapas anteriores. Na Figura 3.3 é apresentado um esquema de como as etapas aqui apresentadas estão interligadas.

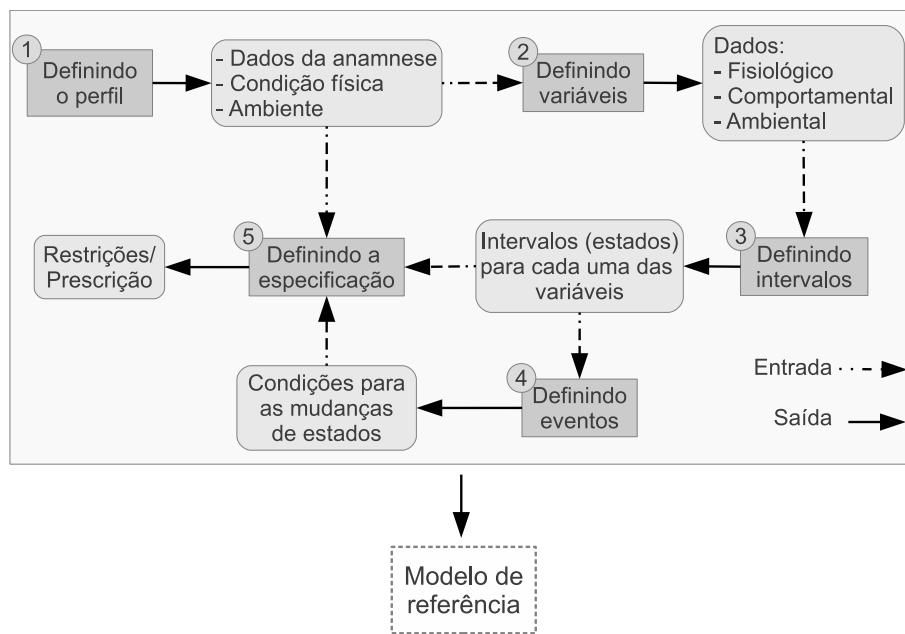


Figura 3.3: Etapas para a definição do programa de exercício customizado.

É importante ressaltar que o trabalho aqui apresentado não pretende substituir a posição do profissional de saúde no processo clínico. O objetivo é auxiliá-lo neste processo. Assim, as etapas descritas a seguir devem ser seguidas por um profissional de cuidados de saúde.

Mesmo com algumas diretrizes clínicas em mãos, é desejável que o profissional de saúde possua o conhecimento necessário sobre o domínio envolvido. Além disso, é esperado que

ele possua experiência em casos reais. Desta forma, o profissional poderá definir modelos mais fidedignos ao perfil e ao contexto do sujeito a praticar o exercício. As cinco etapas para definição do modelo (programa de exercício) são detalhadas a seguir.

### **1. Definindo o perfil do indivíduo.** Nesta primeira etapa, o profissional de saúde deve:

- identificar se o indivíduo é acometido por alguma doença, crônica ou não, e se possui antecedentes de doenças na família;
- medir todas as variáveis por ele consideradas importantes, tais como: frequência cardíaca, pressão sanguínea, nível de açúcar no sangue, etc<sup>2</sup>;
- definir o objetivo do indivíduo no processo: prevenção, tratamento para alguma doença, treinamento, etc;
- classificar o indivíduo, baseado em seus conhecimentos e experiências, de acordo com sua condição física: sedentário, atleta comum (prática de exercício físico regular), atleta de alto desempenho (atleta profissional), etc; e
- identificar junto ao indivíduo qual exercício físico será praticado e onde é pretendido praticar tal exercício: *outdoor* (e.g., parques, campos, etc) ou *indoor* (e.g., academia, em casa, etc).

Esta primeira etapa é basicamente uma combinação do processo de anamnese com o exame físico. A partir das informações obtidas é definido o perfil do indivíduo. Informações como *o que ele pode fazer, até onde ele pode fazer e como ele pode fazer* devem ser inferidas nesta etapa.

### **2. Definindo variáveis a serem monitoradas e/ou controladas.**

Nem todas as variáveis devem ser monitoradas em todos os casos. Algumas variáveis podem ser importantes para um determinado caso, enquanto que outras podem ser consideradas irrelevantes para o mesmo caso. A relevância de uma determinada variável depende do perfil do indivíduo, do ambiente onde a prática do exercício físico será feita e do comportamento esperado do indivíduo.

---

<sup>2</sup>Algumas informações só poderão ser obtidas a partir de exames mais específicos (e.g., exame de sangue, eletrocardiograma, etc).

Por exemplo, em um treinamento contrarresistência, popularmente conhecido como musculação ou treino de força, a variável *velocidade*<sup>3</sup> é irrelevante. Outra informação a ser considerada é que uma certa variável pode ser monitorada para fins de inferência para a tomada de decisão. Contudo, não necessariamente uma variável monitorada poderá (ou precisará) ser controlada.

Numa prática de exercício contínuo (e.g., corrida) feita num parque, a temperatura ambiental influencia diretamente o estado fisiológico do indivíduo, mas não pode ser diretamente controlada. Contudo, neste caso, ações podem ser definidas no programa de exercício para que haja certo controle sobre o estado fisiológico, tais como: procurar correr à sombra, hidratar-se, diminuir o ritmo, etc. Sob a perspectiva do sistema, a primeira sugestão acaba por “mudar” a temperatura do ambiente. Contudo, sabe-se que, na verdade, o indivíduo mudou para um ambiente com uma menor temperatura.

Por fim, o profissional de saúde deve escolher quais variáveis deverão ser monitoradas e/ou controladas. Como já mencionado, o profissional pode escolher variáveis dentre as três classes existentes:

- fisiológica: temperatura corporal, pressão sanguínea, capacidade aeróbica máxima, etc;
- ambiental: temperatura ambiental, umidade relativa do ar, altitude, etc; e
- comportamental: em pé, sentado, deitado, correndo, nadando, etc.

### 3. Definindo os intervalos de valores para cada variável escolhida.

É necessário definir os intervalos de valores para cada variável escolhida, nomeando cada um destes intervalos. No autômato a ser produzido, cada um destes intervalos representará um estado do contexto do indivíduo.

Qualquer intervalo de valores pode ser definido e isto deve ser feito baseado em cada caso. Por exemplo, assumindo um modelo com apenas dois estados. Segundo as regras descritas pelo Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC<sup>4</sup>), os intervalos de valores da frequência cardíaca para exercícios físicos de um indivíduo

---

<sup>3</sup>Em relação à locomoção e não em relação à execução dos movimentos.

<sup>4</sup>*Centers of Disease Control and Prevention* (<http://www.cdc.gov>).

de 50 anos de idade devem ser [85, 119] e [120, 144] para **intensidade moderada** e **alta intensidade**, respectivamente.

Tais regras são recomendações e não necessariamente devem ser aplicadas a todos os indivíduos com 50 anos. Quais os intervalos de valores a serem trabalhados e quais regras a seguir dependerão das necessidades e especificidades de cada caso.

Desta forma, recomendações consolidadas e publicadas pelas comunidades científicas podem ser usadas como referências. Contudo, o profissional de saúde deve sempre definir os intervalos de valores (estados) de acordo com o perfil específico do indivíduo.

#### 4. Definindo ações entre os estados (intervalos de valores) definidos.

As ações, chamadas aqui de recomendações, podem mudar o estado do indivíduo. A simples ação de diminuir a velocidade durante a prática de uma caminhada pode diminuir a pressão arterial sistólica de um indivíduo. No caso desta última variável, outras recomendações podem surtir o mesmo efeito, mas apenas o conhecimento do profissional de saúde pode definir quais recomendações deverão ser definidas entre os estados.

Na Figura 3.4, o modelo para o atributo *frequência cardíaca* é apresentado. As recomendações *increase\_heart\_rate* e *decrease\_heart\_rate* podem ser vistas como ações genéricas. Eles podem representar recomendações que podem provocar a mudança de estado da frequência cardíaca do indivíduo. Por exemplo, *increase\_heart\_rate* pode representar as recomendações *aumente a velocidade* para um exercício contínuo ou *sente-se* para uma exercício de levantamento de peso<sup>5</sup>.

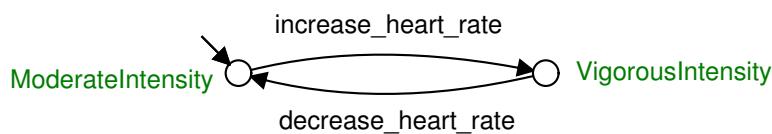


Figura 3.4: Exemplo de modelo para a frequência cardíaca.

#### 5. Definindo a especificação de acordo com o objetivo do indivíduo.

<sup>5</sup>Alguns estudos sugerem que a frequência cardíaca é maior em exercícios contra resistência (musculação) quando o indivíduo encontra-se sentado [71].

As pessoas que procuram por profissionais de saúde possuem diferentes objetivos em relação à prática de exercícios físicos. Elas podem procurar no exercício uma forma de melhorar seus condicionamentos físicos. Outra possibilidade é usar o exercício como parte do tratamento de alguma doença. Há também aqueles que praticam exercícios físicos como forma de se prevenir das doenças. E por fim, há aqueles que buscam ajuda de profissionais visando uma melhora no rendimento do exercício.

Em todos os casos, a recomendação médica se dá por meio de um programa de exercício. Na abordagem apresentada neste trabalho, tal programa é descrito na forma de autômatos e/ou como alguns conceitos de autômatos como *estado proibido* e *estado de aceitação*, por exemplo. Um exemplo é ilustrado na Seção 3.5.

Em resumo, o método aqui apresentado produz em primeiro lugar um modelo geral. É neste modelo que há a descrição de todo o “comportamento” que o sujeito a praticar o exercício é capaz de assumir sem a supervisão de um profissional. É objetivo limitar os estados (do modelo) alcançáveis pelo sujeito. Esta limitação pode ser obtida de duas formas: pelo uso de um autômato com a especificação de ações a serem tomadas, ou pela classificação prévia dos estados dos sub-modelos. Ambas as formas são usadas a partir do conhecimento do profissional de saúde.

Com o uso do autômato contendo a especificação, o modelo geral é podado. Após a poda, apenas os estados toleráveis e de aceitação permanecem. Desta forma, os estados eliminados são classificados como proibidos, limitando algumas ações do sujeito.

Já com a classificação prévia dos estados dos sub-modelos, os estados do modelo final (de referência) são classificados de acordo com algum dos procedimentos descritos na Seção 3.6. A classificação final acaba limitando também as ações que o sujeito pode desempenhar.

## 3.5 Um Exemplo

O método descrito é demonstrado na forma de um exemplo simples. Cenários reais são apresentados no Capítulo 4 como parte da avaliação deste método.

Neste exemplo é apresentado um caso onde o indivíduo tem como objetivo perder peso. Para atingir este objetivo, ele pretende praticar caminhada regularmente. É importante

mencionar que este exemplo foi construído junto a um profissional de saúde da área de Fisiologia do Exercício. Este exemplo também serviu como material para parte da avaliação deste trabalho. Na Seção 4.1 serão apresentados detalhes sobre esta parte da avaliação.

Abaixo são seguidas as etapas apresentadas na Seção 3.4.

### 1. Definindo o perfil do indivíduo.

Uma pessoa do gênero masculino com 60 anos de idade objetiva perder peso caminhando. Este indivíduo apresenta uma rotina sedentária e possui histórico de doenças cardíacas.

### 2. Definindo as variáveis a serem monitoradas e/ou controladas.

É planejado monitorar e controlar a variável fisiológica *frequência cardíaca*, a variável ambiental *temperatura do ambiente* e a variável comportamental *velocidade*.

### 3. Definindo os intervalos de valores para cada variável escolhida.

Para este exemplo, três estados foram definidos para cada uma das variáveis. Desta forma, o autômato resultante pôde ser ilustrado (Figura 3.9). Na Tabela 3.1 são apresentados as variáveis, os nomes dos estados das variáveis e suas respectivas faixas de valores.

Tabela 3.1: Estados e seus intervalos de valores das variáveis escolhidas.

Variável	Estado	Intervalo
Frequência cardíaca (bpm)	safe	[60, 100]
	tole	(100, 120]
	dang	(120, 140]
Velocidade (m/s)	slow	[0, 5]
	mode	(5, 9]
	fast	(9, 14]
Temperatura (°C)	good	[19, 28]
	high	(28, 30]
	vhigh	(30, 40]

**Frequência cardíaca** - Os estados *safe*, *tole* e *dang* representam, respectivamente, estados de frequência cardíaca segura, tolerável e perigosa. Ou seja, para qualquer leitura de frequência cardíaca entre 60 e 100 batimentos por minuto, o estado do indivíduo será considerado seguro.

**Velocidade** - Os estados *slow*, *mode* e *fast* representam, respectivamente, estados de velocidade considerados lento, moderado e rápido.

**Temperatura** - Os estados *good*, *high* e *vhigh* representam, respectivamente, estados de temperatura ambiental considerados bom, alto e muito alto.

É sabido que as variáveis escolhidas podem assumir valores fora das faixas definidas, valores maiores ou menores. Todavia, este cenário foi criado apenas com o propósito de apresentar a metodologia aqui proposta.

#### 4. Definindo eventos/ações entre os estados (intervalos de valores) definidos.

Dois eventos genéricos são definidos para cada modelo construído para cada variável. Para o modelo da variável *frequência cardíaca*, foram definidos quatro eventos: *ihr*, *dhr*, *hu* e *sd* significando *aumentar frequência cardíaca*, *diminuir frequência cardíaca*, *aumentar velocidade* e *diminuir velocidade*, respectivamente. Os estados e as ações entre os estados são ilustrados, no formato de autômato, na Figura 3.5.

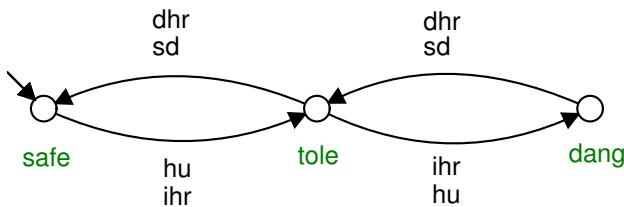


Figura 3.5: Modelo para a variável fisiológica *frequência cardíaca*.

Para o modelo da variável *velocidade*, foram definidos os eventos *hu* e *sd* significando *aumentar velocidade* e *diminuir velocidade*, respectivamente. Como pode ser visto, os modelos de velocidade e frequência cardíaca possuem dois eventos em comum. Os estados e as ações entre os estados são ilustrados, no formato de autômato, na Figura 3.6.

Para o modelo da variável *temperatura do ambiente*, foram definidos os eventos *it* e

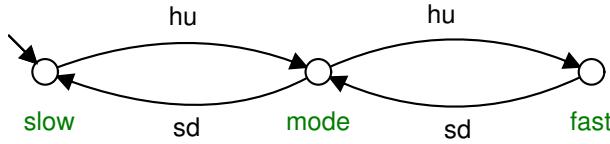


Figura 3.6: Modelo para a variável comportamental *velocidade*.

*dt* significando *aumentar temperatura* e *diminuir temperatura*, respectivamente. Os estados e as ações entre os estados são ilustrados, no formato de autômato, na Figura 3.7.

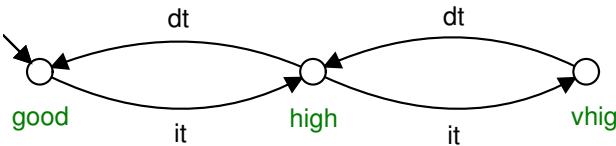


Figura 3.7: Modelo para a variável ambiental *temperatura do ambiente*.

Os estados indicados pela seta sem inscrição correspondem aos estados iniciais de cada modelo. Tais estados são definidos baseados na definição do perfil do indivíduo.

## 5. Definindo a especificação de acordo com o objetivo do indivíduo.

Neste cenário, as recomendações são definidas em relação à sequência de eventos. Tal definição é ilustrada, no formato de autômato, na Figura 3.8. As recomendações e as suas relações com o autômato são as seguintes:

- é tolerável que a temperatura aumente (evento *it*) em um nível, ou seja, passe para o estado mais alto seguinte;
- é desejado que a frequência cardíaca ou a velocidade aumente (eventos *ihr* e *hu*) em um nível; e
- a frequência cardíaca e a velocidade podem aumentar em dois níveis no máximo, porém, é desejado que voltem um nível (eventos *dhr* e *sd*) para se manter num estado objetivo.

Os estados na cor branca ( $S_0$ ,  $S_2$  e  $S_3$ ) são considerados estados toleráveis, enquanto que o estado em cinza ( $S_1$ ) representa um estado objetivo, de *aceitação*. Neste trabalho, estados de aceitação representam estados desejados. Assim, durante o exercício físico,

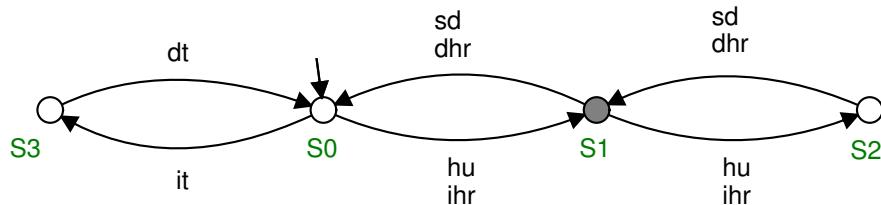


Figura 3.8: Autômato referente ao objetivo definido pelo profissional.

o estado do indivíduo sempre será algum dos apresentados no modelo. Caso não seja algum dos possíveis estados “cinzas”, recomendações que o guiem ao estado de aceitação mais próximo deverão ser seguidas. Vale ressaltar que  $S_0$  é o estado inicial.

Esta especificação (Figura 3.8) reflete o que o profissional de saúde entende como cenário considerado seguro. A operação de produto síncrono entre este modelo e o resultado da composição paralela dos demais modelos resultará num autômato no qual apenas estados toleráveis e aceitáveis estarão presentes.

Uma velocidade alta combinada com uma temperatura muito alta pode acarretar em maior desidratação. Outro cenário perigoso para o indivíduo em questão é a combinação de frequência cardíaca alta com temperatura do ambiente alta. Ambos os casos podem resultar num mal súbito. Assim, é objetivo manter o indivíduo num conjunto de estados nos quais ele possa estar seguro durante a prática de seu exercício físico.

As especificações podem ser definidas de duas formas. Uma delas é construindo um autômato extra, conforme ilustrado na Figura 3.8. Outra maneira é classificar os estados dos modelos em estados *proibidos* ou estados de *aceitação*, também conhecidos como estados *marcados*.

Os estados proibidos são marcados com um o sinal  $\times$  (semelhante à letra xis) e representam estados indesejados, perigosos ou não. Um exemplo de modelo com estados proibidos pode ser encontrado no modelo apresentado na Figura 3.11. Quando um estado não é classificado como de aceitação ou como proibido, o estado é considerado tolerável.

Com base nos experimentos realizados em campo, três procedimentos foram definidos para geração do modelo de referência a partir da classificação direta dos estados. Estes procedimentos são apresentados na Seção 3.6.

Primeiramente, após executar as cinco etapas, é suficiente fazer a composição paralela, conforme apresentado na Seção 2.2.2, dos modelos definidos na quarta etapa (Figuras 3.5, 3.6 e 3.7). O modelo resultante possui estados que representam todas as combinações entre os estados dos três modelos. O modelo geral possui 27 estados e 96 transições. Este modelo é apresentado na Figura 3.9. Nota-se que, apesar de se lidar com modelos com poucos estados, o modelo resultante da composição paralela apresenta complexidade suficiente para que uma análise manual se torne inviável, uma vez que seu tamanho cresce exponencialmente em relação à quantidade de estados dos sub-modelos.

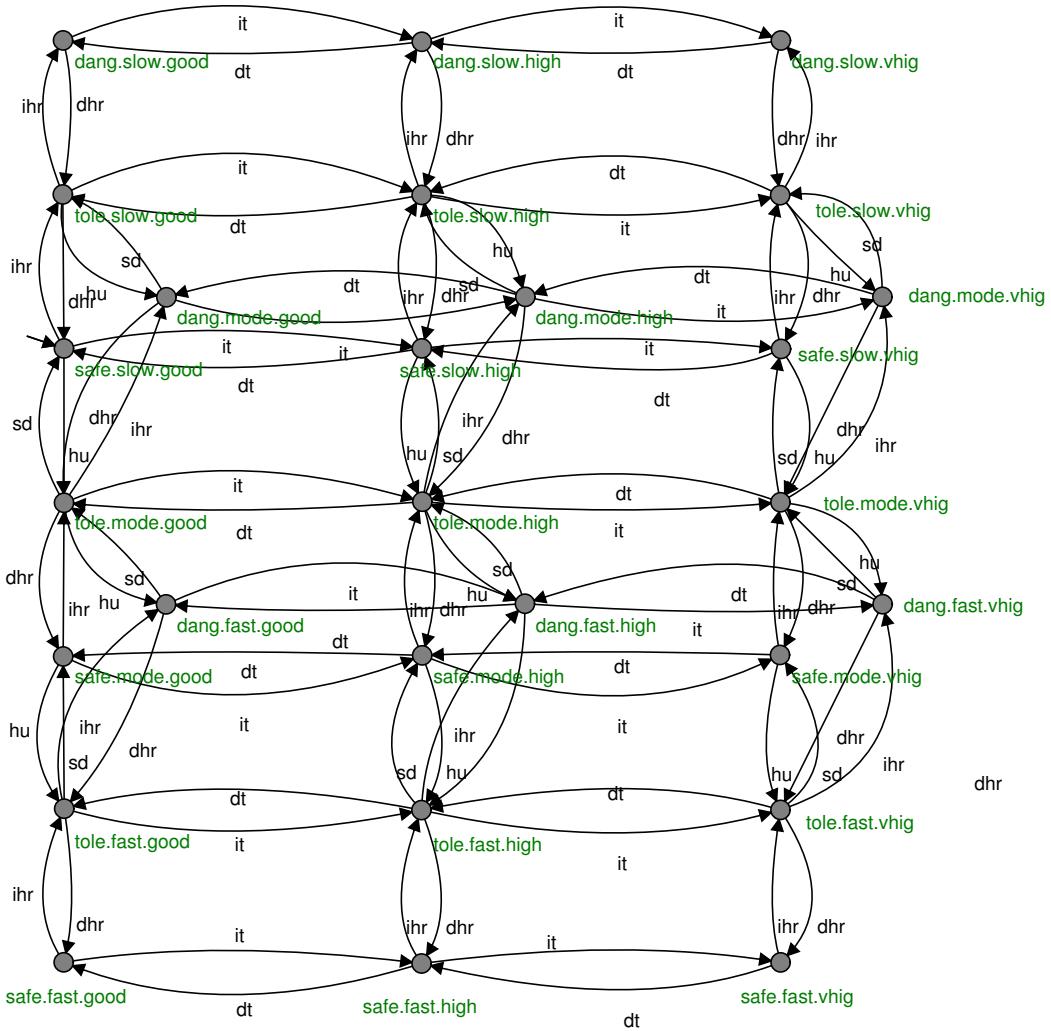


Figura 3.9: Modelo geral resultante da composição paralela dos modelos das variáveis.

Em segundo lugar, aplicando a operação de produto síncrono entre o modelo geral (Figura 3.9) e o modelo da especificação (Figura 3.8), um modelo contendo apenas estados toleráveis e desejados é obtido. Neste cenário, o modelo contém apenas 12 estados e 26

transições que seguem as especificações/recomendações escritas. O modelo resultante do produto é apresentado na Figura 3.10.

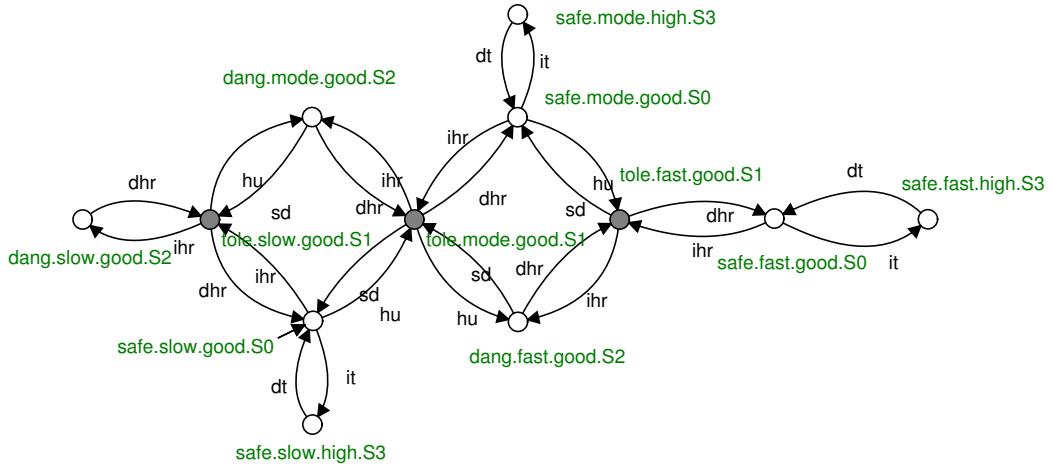


Figura 3.10: Modelo resultante do produto *modelo geral*  $\times$  *especificação*.

Vale a pena ressaltar que a operação de produto síncrono entre o modelo geral e o modelo da especificação elimina os estados que não seguem a especificação, como pode ser visto na Figura 3.10. Contudo, neste trabalho é adotada uma estratégia distinta. Todos os estados omitidos neste último autômato são classificados como estados proibidos no modelo geral, conforme apresentado na Figura 3.11. Isto é feito para que para qualquer que seja a leitura dos sensores, haja sempre um estado no modelo que possa representar o estado do indivíduo.

Desta forma, durante a prática do exercício físico, após uma leitura dos dados pelos sensores, caso o indivíduo se encontre em algum dos estados marcados como proibidos, o modelo poderá fornecer caminhos (sequências de eventos) que o guiem até algum dos estados que não foram marcados como proibidos. Tais estados não proibidos são justamente os estados presentes no modelo gerado pelo produto *modelo geral*  $\times$  *especificação*.

Todos os modelos aqui apresentados são autômatos com a seguinte formalização  $G = (Q, \Sigma, \delta, q_0, Q_m, Q_p)$ , onde:

- $Q$  é o conjunto de estados (intervalos de valores correspondentes a cada variável),
- $\Sigma$  é o conjunto de eventos (ações a serem sugeridas ao indivíduo),
- $\delta$  é a função de transição (que associa estado e ação a um próximo estado),
- $q_0$  é o estado inicial (valores das variáveis no início do exercício),

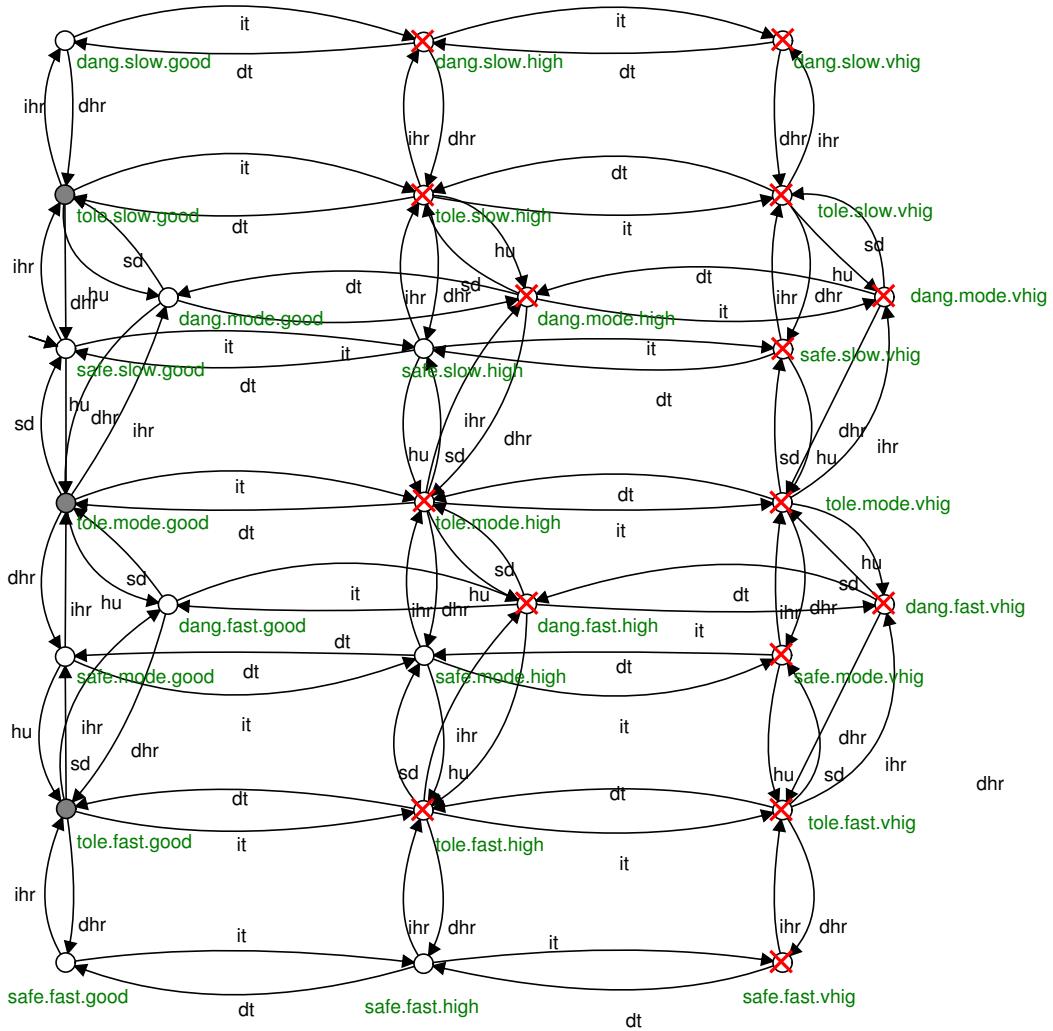


Figura 3.11: Modelo de referência gerado a partir dos modelos *geral* e *especificação*.

- $Q_m$  é o conjunto de estados finais (estados objetivos), e
- $Q_p$  é o conjunto de estados proibidos (estados que devem ser evitados).

O conjunto de estados toleráveis pode ser obtido a partir da subtração  $Q - (Q_p \cup Q_m)$ . Caso a especificação seja definida usando o autômato extra, os modelos das variáveis podem ter  $Q_p = Q_m = \emptyset$ .

Abaixo são apresentadas as etapas do processo de construção do modelo de referência. O modelo de referência ( $G_r$ ) é obtido a partir das informações colhidas do modelo geral ( $G_g$  - Figura 3.9) e do modelo resultante do produto síncrono ( $G_s$  - Figura 3.10).

1.  $G_r := G_g;$

2.  $Q_{m_r} := \emptyset;$

3. Para cada  $q \in Q_r$ , se  $q$  não tiver ao menos um estado correspondente  $q.Sn$  no modelo resultante do produto ( $G_s$ ), onde  $Sn$  representa um estado do modelo  $G_s$ ,  $q$  deve ser classificado como estado proibido;
4. Para cada  $q \in Q_r$ , se  $q$  não é estado proibido e tiver ao menos um estado correspondente marcado  $q.Sn$  no modelo resultante do produto ( $q.Sn \in Q_{m_s}$ ),  $q$  deve ser classificado como marcado:  $Q_{m_r} := Q_{m_r} \cup \{q\}$ .

Ao final destas etapas, o modelo de referência  $G_r$  conterá todos os estados presentes no modelo geral  $G_r$ . Contudo, os estados de  $G_r$  correspondentes aos estados toleráveis de  $G_s$  serão classificados como toleráveis. Os estados de  $G_r$  correspondentes aos estados de aceitação de  $G_s$  serão classificados como de aceitação. Os demais serão classificados como estados proibidos.

Uma alternativa a este processo é o uso de conceitos de *estado marcado* e *estado proibido*, que podem ser aplicados diretamente nos próprios modelos das variáveis. Cabe ao profissional de saúde decidir qual a melhor forma de especificação para cada caso. A seguir são apresentadas as possíveis abordagens para construção do modelo de referência usando estes conceitos.

## 3.6 Especificação usando estados proibidos e marcados

Além de definir a especificação usando um autômato extra e a operação de produto, é possível definir o modelo de referência apenas classificando os estados dos modelos de cada atributo. Como supradito, os estados poderão ser classificados como estados de aceitação, estados proibidos ou estados toleráveis.

Uma vez que os estados foram classificados, a operação de composição paralela é aplicada. Esta operação é estendida com um procedimento para classificação dos estados para o modelo final. Na verdade, três procedimentos foram definidos para esta classificação. Contudo, apenas um deve ser usado. A diferença entre os três procedimentos está no nível de permissividade refletido no modelo de referência.

No Código Fonte 3.1 é apresentado o procedimento menos restritivo. A proposta é de que ele seja usado em exercícios de baixa intensidade, onde não haja risco em alcançar estados

extremos. O código foi extraído do projeto da ferramenta desenvolvida para o profissional de saúde, *SupervisorD* (Apêndice C). Algumas partes foram abreviadas objetivando uma melhor apresentação neste documento.

---

Código Fonte 3.1: Procedimento 1 para classificação de estados.

---

```
if (eA . getClassific ()==PERIGOSO || eB . getClassific ()==PERIGOSO)
    return PERIGOSO;
else if (eA . getClassific ()==ACEITACAO || eB . getClassific ()==ACEITACAO)
    return ACEITACAO;
return TOLERAVEL;
```

---

Na prática, este procedimento funciona da seguinte forma. Dado que  $n$  modelos serão aplicados à composição paralela, no modelo resultante um estado será perigoso caso algum dos estados dos modelos seja. Caso nenhum dos estados seja perigoso, basta que um seja de aceitação para que o estado no modelo resultante seja de aceitação. E, por fim, caso todos os estados sejam toleráveis, o estado resultante no modelo final também será tolerável.

No Código Fonte 3.2 é apresentado um procedimento mais restritivo do que o anterior. Para que um estado resultante seja de aceitação, é necessário que ambos os estados sejam.

---

Código Fonte 3.2: Procedimento 2 para classificação de estados.

---

```
if (eA . getClassific ()==PERIGOSO || eB . getClassific ()==PERIGOSO)
    return PERIGOSO;
else if (eA . getClassific ()==TOLERAVEL || eB . getClassific ()==TOLERAVEL)
    return TOLERAVEL;
return ACEITACAO;
```

---

Na prática, este procedimento funciona da seguinte forma. Dado que  $n$  modelos serão aplicados à composição paralela, no modelo resultante um estado será perigoso caso algum dos estados dos modelos seja. Caso nenhum dos estados seja perigoso, basta que um seja tolerável para que o estado no modelo resultante seja tolerável. E, por fim, faz-se necessário que todos os estados dos modelos sejam de aceitação para que o estado resultante no modelo final também será de aceitação.

Já no Código Fonte 3.3, é apresentado um procedimento que define a classificação com base na prioridade de um atributo em relação ao outro.

Código Fonte 3.3: Procedimento 3 para classificação de estados.

---

```
if (eA . getClassific ()==PERIGOSO || eB . getClassific ()==PERIGOSO)
    return PERIGOSO;
else if (eA . getClassific ()==ACEITACAO)
    return ACEITACAO;
return TOLERAVEL;
```

---

Admita que  $eA$  é um estado do atributo referente à frequência cardíaca, e que este atributo é considerado mais importante que os demais envolvidos no cenário. Desta forma, o estado resultante será perigoso caso algum dos dois seja, mas será de aceitação caso o referido estado ( $eA$ ) seja de aceitação, independente de  $eB$  ser de aceitação ou não. E, o estado resultante será tolerável caso  $eA$  seja tolerável, independente de  $eB$  ser de aceitação ou ser tolerável.

Visto que o procedimento de composição paralela opera sobre dois modelos por vez, caso o modelo resultante possua uma variável importante, este modelo herda esta importância. Isto é feito para que futuras aplicações da composição paralela preservem a prioridade para o procedimento de classificação dos estados.

Estes procedimentos foram desenvolvidos com base em observações feitas durante os experimentos realizados. Acompanhando a definição dos programas de exercício, foi percebido que os profissionais de saúde<sup>6</sup> classificavam os estados do modelo gerado pela composição paralela de acordo com as classificações dos estados usados na composição.

---

<sup>6</sup>Dois profissionais da área de Educação Física participaram do experimento em campo.

# **Capítulo 4**

## **Avaliação**

Neste capítulo são apresentadas as atividades realizadas para a avaliação deste trabalho. Este processo foi dividido em quatro partes. Iniciando a descrição do processo de avaliação, na Seção 4.1 é apresentada a avaliação do método para definição do programa de exercícios feita junto a um profissional de saúde. Na Seção 4.2, é apresentado o processo de verificação formal do modelo analisado pelo profissional de saúde. A demonstração de viabilidade técnica do método apresentado é apresentada na Seção 4.3. Já na Seção 4.4, são apresentados os experimentos realizados em campo. Por fim, na Seção 4.5, são apresentadas as considerações éticas sobre o processo de avaliação.

### **4.1 Avaliação com o Profissional de Saúde**

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na primeira etapa de avaliação do método descrito neste documento. Como primeiro passo no processo de avaliação, o método descrito na Seção 3.4 foi apresentado a um profissional de saúde. Por sua vez, este profissional emitiu sua opinião sobre o método e sobre seu funcionamento, após a execução do método num cenário fictício. Antes de apresentar os resultados obtidos, são descritos os equipamentos utilizados e os procedimentos adotados para a realização desta avaliação.

### 4.1.1 Materiais e Métodos

#### Equipamentos

Esta etapa demandou equipamentos simples, a saber:

- gravador de áudio para registrar a entrevista feita com o profissional de saúde; e
- *notebook* e *datashow* utilizados para apresentar o método e executá-lo num cenário fictício.

#### Procedimentos

O profissional de saúde que participou desta etapa da avaliação obedeceu aos seguintes critérios:

- Critérios de inclusão: possuir título de mestre ou doutor com trabalhos na área de Educação Física ou Fisiologia do Exercício.
- Critérios de exclusão: não possuir titulação mínima de mestre na área de Educação Física ou Fisiologia do Exercício, com diploma emitido ou validado por instituição reconhecida pelo Ministério da Educação.

Ele foi tomado como *padrão ouro* [108] neste trabalho. Isto é, o conhecimento do profissional expresso em seu parecer serviu como base confiável para comparação com os resultados obtidos pela simulação do modelo. O uso do profissional como padrão ouro é suficiente quando o objetivo em questão é a prova de conceitos, que é o caso deste trabalho.

Esta etapa teve como objetivo avaliar o método desenvolvido para construção do modelo de referência para a prática segura de exercícios físicos. Além disso, objetivou-se avaliar as recomendações extraídas deste modelo para os cenários simulados.

As seguintes etapas foram seguidas:

1. apresentação desta pesquisa ao sujeito recrutado;
2. execução do método para construção do modelo de referência junto com o profissional de saúde para um indivíduo fictício;
3. execução do modelo gerado para algumas situações simuladas;

4. realização de entrevista utilizando um questionário semiestruturado; e
5. transcrição e análise da entrevista.

Primeiramente, foi feita uma apresentação ao profissional de saúde. Nesta apresentação, foi explanado o método de definição de programa de exercícios. Em seguida, o método foi executado com base num indivíduo fictício, a partir do qual foi construído um modelo de referência. A partir deste modelo, algumas situações simuladas e suas respectivas recomendações foram apresentadas ao profissional.

O profissional avaliou se as recomendações seriam adequadas caso as situações expostas fossem reais. Após esta etapa, foi realizada uma entrevista semi-estruturada, utilizando um questionário como roteiro. Esta entrevista teve como objetivo obter do profissional sua opinião sobre o método de uma forma geral.

Estas etapas ocorreram em sala reservada apenas com a presença do profissional e do responsável sobre a pesquisa, autor deste trabalho. Os equipamentos utilizados foram apenas *notebook*, *datashow* e gravador de áudio. Para dar mais agilidade à coleta dos dados, o responsável pela pesquisa gravou as respostas do profissional para que a entrevista ocorresse de forma contínua, sem pausas.

O referido questionário semiestruturado foi construído usando uma abordagem conhecida como GQM (*Goal-Question-Metric*). Segundo Basili et al. [13], GQM representa uma abordagem sistemática para adequar e integrar objetivos aos modelos do processo de software, produtos e perspectivas de qualidade, baseada em necessidades específicas do projeto e da organização.

Tal abordagem é iniciada definindo um objetivo ou conjunto de objetivos (*goal*). Após esta definição, cada objetivo é refinado em perguntas (*question*) que acabam por dividir o problema em seus componentes. Por fim, métricas (*metric*) são definidas para que possam prover informação para responder às questões levantadas. É dito que a abordagem é iniciada numa perspectiva *top-down*. Para mais detalhes, consultar o trabalho de Basili et al. [13].

O tratamento das respostas coletadas em entrevista foi realizado usando o método conhecido como análise de conteúdo [10]. Este método é bastante utilizado em pesquisas nas áreas de ciências sociais e de ciências da saúde. Contudo, tem ganhado espaço em pesquisas relacionadas à Ciência da Computação [19; 24; 28; 114].

Bardin [10] aponta para a organização da análise em torno de três fases: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação dos dados. Cada fase da análise é composta por um conjunto passos que sistematizam e organizam o processo.

O método de análise de conteúdo possibilita *categorizar* objetivos da pesquisa realizada utilizando tal método. Segundo Moraes [72], esta categorização pode ser feita a partir de seis questões: *i) Quem fala?*, *ii) Para dizer o que?*, *iii) A quem?*, *iv) De que modo?*, *v) Com que finalidade?* e *vi) Com que resultados?*. Utilizando esta definição podemos categorizar os objetivos da análise de conteúdo de acordo com a orientação que toma em relação a estas seis questões. Dependendo dos objetivos que se deseja alcançar com a análise, é facultado ao pesquisador escolher com quais questões trabalhar.

Uma vez que neste trabalho objetivou-se confrontar a opinião do especialista com as recomendações do modelo, apenas uma das seis questões supraditas foi abordada: a questão *ii*. Quando uma pesquisa utilizando análise de conteúdo se dirige a esta questão, o estudo se direciona para as características da mensagem propriamente dita, seu valor informacional, as palavras, argumentos e idéias nela expressos. Isto é o que constitui a chamada análise temática.

#### 4.1.2 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da etapa de avaliação junto ao profissional de saúde: comparação a opinião deste especialista e as recomendações dadas pelo modelo.

##### O Profissional Recrutado

O profissional de saúde recrutado para executar e avaliar o método apresentou o seguinte perfil:

- graduado em Licenciatura em Educação Física há mais de 22 anos,
- mestre em Ciências da Saúde Humana há mais 12 anos,
- doutor em Ciências da Saúde, com foco em Fisiologia do Exercício, há mais de nove anos,

- experiência como preparador físico da seleção brasileira de handebol feminino, e
- pesquisador em sua área de formação.

### Modelo Construído

Após o profissional recrutado aprender e executar o método apresentado, um modelo de referência foi construído junto com ele para um certo cenário. Este modelo foi definido a partir de um cenário fictício envolvendo três variáveis. A ferramenta *SupervisorD* (Apêndice C.1), desenvolvida para auxiliar os profissionais de saúde na construção dos modelos, foi utilizada.

O modelo construído fora apresentado como exemplo voltado a apresentação deste método (Seção 3.5). O modelo é ilustrado novamente na Figura 4.1.

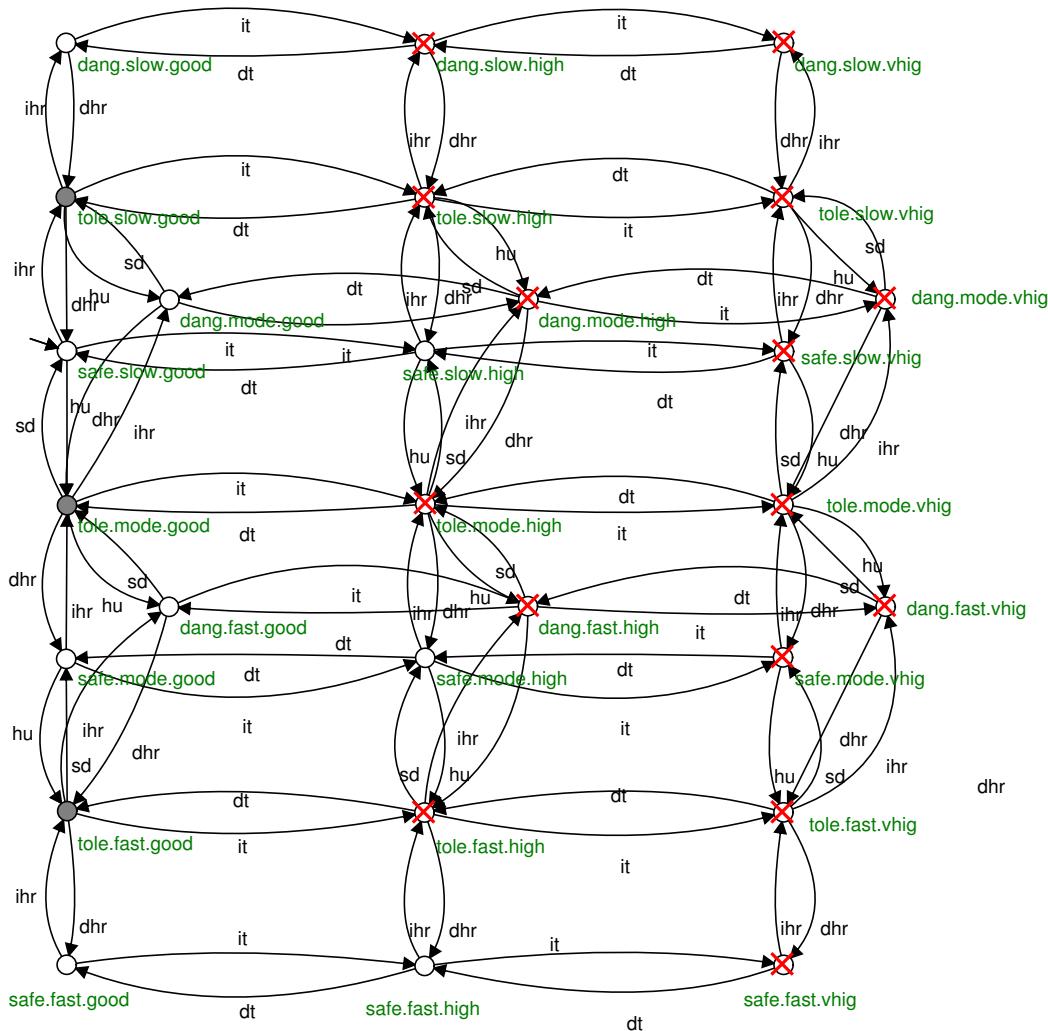


Figura 4.1: Modelo de referência construído pelo profissional de saúde.

Durante todo o processo de construção do modelo o profissional de saúde teve à disposição o pesquisador responsável por esta pesquisa para sanar quaisquer dúvidas.

### **Simulação do Modelo Construído**

A partir do modelo de referência gerado, 16 traços de execução foram extraídos para que o profissional pudesse avaliar. Estas execuções foram classificadas em quatro categorias, a saber:

- i **perigoso para seguro** - execuções que guiam o indivíduo de uma situação considerada perigosa para uma segura;
- ii **seguro para perigoso** - execuções que guiam o indivíduo de uma situação considerada segura para uma perigosa;
- iii **sempre seguro** - execuções que mantém o indivíduo em situações seguras; e
- iv **sempre perigoso** - execuções que mantém o indivíduo em situações perigosas.

Foi esperado que o especialista humano concordasse com as recomendações. Desta forma, isto indicaria que o modelo de referência era uma boa representação do conhecimento sobre aquele caso específico.

Vale a pena ressaltar que no processo de simulação, o modelo de referência em questão guia o sujeito apenas usando os traços de execução classificados nas categorias *i* e *iii*. Também foi esperado que o profissional de saúde recrutado concordasse que os traços de execução das categorias *ii* e *iv* fossem ruins. Assim, tais execuções não deveriam ser usadas como recomendações. A seguir são apresentados alguns traços.

Da categoria *i* destaca-se o caminho *dang.fast.vhig* →<sub>dt</sub> *dang.fast.high* →<sub>dt</sub> *dang.fast.good* →<sub>sd</sub> *tole.mode.good*. Tal caminho representa a execução na qual o indivíduo se encontra numa situação perigosa (*dang.fast.vhig*) e, por isso, deve diminuir a temperatura (*dt*) para alcançar o estado *dang.fast.high* e, em seguida, o estado *dang.fast.good*. Além disso, de acordo com o caminho extraído do modelo, o indivíduo deve diminuir a velocidade (*sd*) para que possa alcançar uma situação segura, representada pelo estado (*tole.mode.good*).

A recomendação *dt* pode representar: (a) num exercício ao ar livre, uma mensagem de texto ao indivíduo para que este busque correr sob alguma sombra ou busque se hidratar; e (b)

num exercício em ambiente fechado, uma mensagem enviada diretamente ao condicionador de ar para que este diminua a temperatura do ar. Conforme mencionado anteriormente, estas associações devem ocorrer durante a definição do programa de exercício. Como resultado, o profissional recrutado concordou com todas as sequências de recomendações presentes nesta categoria.

Da categoria *ii* destaca-se o caminho *tole.slow.good*  $\rightarrow_{it}$  *tole.slow.high*  $\rightarrow_{hu}$  *dange.mode.high*  $\rightarrow_{it}$  *dange.mode.vhig*. Tal caminho representa uma situação oposta à apresentada anteriormente. O profissional de saúde concordou que este cenário pode ocorrer durante o exercício físico quando a temperatura do ambiente é elevada e o indivíduo aumenta sua velocidade. Todavia, apesar de constar no modelo, esta não é uma sequência de recomendações que possa ser emitida pelo sistema. Pois, tal sequência de recomendações levaria o indivíduo para um estado considerado perigoso.

Da categoria *iii* destaca-se o caminho *safe.slow.good*  $\rightarrow_{hu}$  *tole.mode.good*  $\rightarrow_{hu}$  *dang.fast.good*  $\rightarrow_{dhr}$  *tole.fast.good*. Este caminho representa a execução na qual o indivíduo sempre se encontra em estados seguros. O profissional de saúde concordou que tal cenário não é apenas possível como, na verdade, é desejável. No caso em que o sujeito siga as recomendações envolvidas (*hurry-up* and *decrease heart rate*), ele deverá passar por aqueles estados seguros.

Da categoria *iv* destaca-se o caminho *tole.fast.high*  $\rightarrow_{it}$  *tole.fast.vhig*  $\rightarrow_{ihr}$  *dang.fast.vhig*. Este caminho modela o cenário no qual o sujeito já se encontra numa situação perigosa e ainda assim toma ações ruins. O especialista humano concordou que tal cenário simulado é factível de acontecer, caso o indivíduo se mantenha tomando ações prejudiciais ao seu estado corrente. E que ações como estas podem guiar o sujeito a uma situação de grande risco à sua saúde. Estes não são, portanto, traços de execução usados como recomendações para a prática de exercício físico seguro.

Na Tabela 4.1 são apresentados todos os traços de execução agrupados pelas categorias mencionadas. Em relação aos traços do grupo *i*, o profissional alertou para a sequência de apresentação das recomendações. Apesar de serem recomendações válidas, a sequência deveria ser diferente em algumas. No primeiro e no terceiro traço, deveria ser recomendado ao sujeito que ele diminuísse a velocidade antes de sugerir que a temperatura diminuísse.

Tabela 4.1: Traços de execução apresentados ao especialista humano.

Grupo	Traço de execução
<i>i</i>	dang.fast.vhig → <sub>dt</sub> dang.fast.high → <sub>dt</sub> dang.fast.good → <sub>sd</sub> tole.mode.good
	tole.fast.high → <sub>sd</sub> safe.mode.high → <sub>dt</sub> safe.mode.good → <sub>hu</sub> tole.fast.good
	dang.fast.high → <sub>dt</sub> dang.fast.good → <sub>sd</sub> tole.mode.good
	tole.fast.high → <sub>dt</sub> tole.fast.good
<i>ii</i>	tole.slow.good → <sub>it</sub> tole.slow.high → <sub>hu</sub> dange.mode.high → <sub>it</sub> dange.mode.vhig
	tole.fast.good → <sub>sd</sub> safe.mode.good → <sub>it</sub> safe.mode.high → <sub>hu</sub> tole.fast.high
	tole.mode.good → <sub>hu</sub> dang.fast.good → <sub>it</sub> dang.fast.high
	tole.fast.good → <sub>it</sub> tole.fast.high
<i>iii</i>	safe.slow.good → <sub>hu</sub> tole.mode.good → <sub>hu</sub> dang.fast.good → <sub>dhr</sub> tole.fast.good
	tole.mode.good → <sub>dhr</sub> safe.mode.good → <sub>hu</sub> tole.fast.good
	tole.mode.good → <sub>hu</sub> dang.fast.good → <sub>dhr</sub> tole.fast.good
	tole.fast.good → <sub>dhr</sub> safe.fast.good → <sub>ihr</sub> tole.fast.good
<i>iv</i>	tole.fast.high → <sub>it</sub> tole.fast.vhig → <sub>ihr</sub> dang.fast.vhig
	tole.fast.high → <sub>it</sub> tole.fast.vhig → <sub>sd</sub> safe.mode.vhig
	tole.fast.high → <sub>it</sub> tole.fast.vhig → <sub>dhr</sub> safe.fast.vhig
	safe.slow.vhig → <sub>ihr</sub> tole.slow.vhig → <sub>ihr</sub> dang.slow.vhig

## Questionário: Construção e Respostas Objetivas

Nesta seção são apresentados: (i) o questionário utilizado como roteiro da entrevista (resultado da aplicação do método GQM), e (ii) as respostas obtidas a partir da entrevista realizada com o profissional de saúde.

### Etapa 1 - Definição dos objetivos/metas

- $G_1$ : Entendimento sobre o processo.

Objeto: O processo de construção do modelo.

Propósito: Verificar se a descrição do processo e de suas etapas foi bem entendida.

Ambiente: Nenhum.

- $G_2$ : Completude da definição do perfil do indivíduo.

Objeto: Etapa de estudo do perfil do indivíduo.

Propósito: Verificar se a primeira etapa do processo é adequada como fonte para a definição do programa de exercícios físicos.

Ambiente: Consultório e laboratório.

- $G_3$ : Relevância das possíveis variáveis a monitorar/controlar.

Objeto: Etapa de definição de variáveis a monitorar/controlar.

Propósito: Verificar se a segunda etapa do processo é adequada à escolha de informações relevantes à prática segura de exercícios físicos.

Ambiente: Consultório.

- $G_4$ : Importância da definição customizada das zonas alvo.

Objeto: Etapa de definição das zonas alvo para cada variável.

Propósito: Verificar se a terceira etapa do processo está de acordo com as especificidades de perfis fisiológicos existentes.

Ambiente: Consultório.

- $G_5$ : Possibilidade da definição de eventos para mudanças de zonas alvo.

Objeto: Etapa de definição das ações que provocam mudanças fisiológicas e outros tipos relacionados à fisiologia do exercício.

Propósito: Verificar se a quarta etapa do processo permite associar de forma correta ações/eventos às mudanças de estado fisiológico.

Ambiente: Consultório.

- $G_6$ : Prescrição/Recomendações ao paciente.

Objeto: Etapa de definição das especificações utilizando conceitos de estado de aceitação, estado tolerável e estado proibido.

Propósito: Verificar se a etapa de definição de programa de exercício está em conformidade com o que ocorre no processo tradicional de recomendações.

Ambiente: Consultório.

- $G_7$ : Adequação do método ao processo clínico.

Objeto: O processo completo.

Propósito: Verificar se é possível inserir o método em questão dentro do processo clínico.

Ambiente: Consultório.

- $G_8$ : Supervisão com recomendações importantes.

Objeto: O modelo de referência gerado.

Propósito: Verificar se para o caso definido o modelo sugere as ações necessárias para a prática segura de exercícios.

Ambiente: Esteira ergométrica em ambiente climatizado.

#### Etapa 2 - Definição das questões

As questões sobre o método foram:

- $Q_{1_1}$ : Houve um entendimento claro sobre o processo de construção do modelo?
- $Q_{2_1}$ : A primeira etapa da solução está de acordo com o processo clínico tradicional?
- $Q_{2_2}$ : É possível traçar um perfil do paciente com informações relevantes?
- $Q_{2_3}$ : Após a realização desta etapa, há informação suficiente para definir a prescrição de exercício?
- $Q_{2_4}$ : Algo mais poderia ser adicionado nesta etapa para melhorar o método proposto?
- $Q_{2_5}$ : Caso a resposta tenha sido sim na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.
- $Q_{3_1}$ : A segunda etapa da solução está de acordo com o processo clínico tradicional?
- $Q_{3_2}$ : É importante focar nas variáveis relacionadas ao caso em estudo?
- $Q_{3_3}$ : Algo mais poderia ser adicionado nesta etapa para melhorar o método proposto?
- $Q_{3_4}$ : Caso a resposta tenha sido sim na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.
- $Q_{4_1}$ : A terceira etapa da solução está de acordo com o processo clínico tradicional?
- $Q_{4_2}$ : É importante estabelecer os limites específicos de cada indivíduo para cada variável de acordo com o caso?
- $Q_{4_3}$ : Algo mais poderia ser adicionado nesta etapa para melhorar o método proposto?

- $Q_{4_4}$ : Caso a resposta tenha sido sim na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.
- $Q_{5_1}$ : A quarta etapa da solução está de acordo com o processo clínico tradicional?
- $Q_{5_2}$ : O estabelecimento de relações entre ações/eventos e mudanças de estado condiz com a realidade prática e o conhecimento da área?
- $Q_{5_3}$ : É relevante classificar os estados (intervalos de valores) de acordo com as características específicas do caso: condicionamento físico do indivíduo, informações ambientais, etc?
- $Q_{5_4}$ : Algo mais poderia ser adicionado nesta etapa para melhorar o método proposto?
- $Q_{5_5}$ : Caso a resposta tenha sido sim na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.
- $Q_{6_1}$ : A quinta etapa da solução está de acordo com o processo clínico tradicional?
- $Q_{6_2}$ : A etapa de definição de estados *aceitos* e *proibidos* é importante para a prática segura de exercícios?
- $Q_{6_3}$ : A sequência de ocorrência de eventos é relevante a depender do caso específico a ser tratado?
- $Q_{6_4}$ : Algo mais poderia ser adicionado nesta etapa para melhorar o método proposto?
- $Q_{6_5}$ : Caso a resposta tenha sido sim na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.
- $Q_{7_1}$ : O método proposto pode ser usado para a definição da prescrição de exercícios físicos?
- $Q_{7_2}$ : O método proposto está de acordo com o que ocorre no processo tradicional?
- $Q_{7_3}$ : Caso julgue necessário, descreva sugestões/críticas que por acaso não tenham se encaixado nos espaços reservados anteriormente?

Com exceção de algumas questões, todas foram adaptadas para serem respondidas usando a escala de Likert [60] de cinco níveis: *Discordo totalmente*, *Discordo parcialmente*, *Indiferente*, *Concordo parcialmente* e *Concordo totalmente*. As exceções foram as questões  $Q_{25}$ ,  $Q_{34}$ ,  $Q_{44}$ ,  $Q_{55}$ ,  $Q_{65}$  e  $Q_{73}$ . Estas foram definidas para possibilitar que o entrevistado pudesse desenvolver livremente sua opinião e para que pudesse levantar questões que possivelmente não tivessem sido pensadas na etapa de planejamento das metas.

Outras questões foram definidas para o processo de análise dos cenários simulados. Elas foram:

- $Q_{8_1}$ : Quantos cenários simulados foram realizados?
- $Q_{8_{1a}}$ : Quantas foram sugestões consideradas corretas?
- $Q_{8_{1b}}$ : Quantas foram sugestões consideradas incorretas?
- $Q_{8_2}$ : Alguma sugestão incorreta (caso tenha ocorrido) representaria uma situação de risco ao bem estar físico indivíduo?
- $Q_{8_3}$ : Caso tenha respondido 'sim' na questão anterior, descreva quais situações foram.
- $Q_{8_4}$ : A partir dos cenários simulados, considera o modelo gerado uma ferramenta capaz de fornecer sugestões úteis para a prática segura de exercícios físicos? Por que?
- $Q_{8_5}$ : Caso julgue necessário, forneça sugestões/críticas para a melhoria das sugestões fornecidas pelo modelo ao indivíduo nos testes simulados.

Todas as questões com respostas no formato da escala de Likert foram respondidas com *Concordo totalmente*. As exceções foram as questões  $Q_{41}$ ,  $Q_{43}$  e  $Q_{72}$ . Estas foram respondidas com *Concordo parcialmente*. O questionário em seu formato final pode ser conferido no Apêndice A.

## Análise da Entrevista

Para a análise da entrevista realizada, foi aplicado o método de análise de conteúdo sobre a transcrição desta entrevista. Mais especificamente, foi realizada a análise temática sobre a transcrição. Como dito anteriormente, neste tipo de análise é avaliada a mensagem propriamente dita, seu valor informacional.

Com base no que fora definido usando o método GQM, algumas categorias para a análise foram definidas *a priori*. Durante o processo de análise do material coletado (a transcrição da entrevista), estas categorias foram ratificadas. Não obstante, novas categorias emergiram na fase de análise.

Seguindo o método de análise de conteúdo, as categorias usadas no processo de análise para classificação das unidades de análise foram: *processo clínico, exames, controle e profissional*.

A entrevista foi iniciada questionando o profissional sobre o entendimento do mesmo acerca do trabalho em questão. O profissional demonstrou total segurança ao afirmar que tinha entendido perfeitamente o que havia sido apresentado a ele.

*“Ficou bem claro, a descrição de todo o processo de construção do modelo.*

*Desde o processo de alimentação, ou seja, da coleta de informações sobre o paciente, de alimentação do processo, do controle da atividade, da retro-alimentação justamente da resposta dos comportamentos que ele deve assumir em função das alterações fisiológicas.”*

Após este posicionamento do profissional, a entrevista transcorreu sem questionamentos por parte do entrevistado. O mesmo demonstrou com a postura adotada que não restou dúvida sobre o método apresentado e seus componentes. A seguir é apresentada uma discussão sobre cada uma das categorias supracitadas.

**Processo clínico** O profissional esteve de total acordo que as etapas do método apresentado estão em consonância com o que ocorre no processo clínico. A exceção foi a terceira etapa, com a qual ele concordou parcialmente.

Apesar de ter concordado parcialmente com a consonância entre a terceira etapa e o processo clínico, no geral, o profissional concordou totalmente com cada uma das etapas descritas sobre o método. Ele ainda ressaltou que a anamnese prevista no processo é um fator crucial pra fazer um levantamento do estado do indivíduo.

**Exames** A falta de menção aos exames clínico e laboratorial foi enfatizada diversas vezes.

O profissional afirmou que para dar uma fidedignidade maior ao modelo de referência, faz-se necessário incluir no processo a possibilidade de usar resultados desses exames no

processo de definição do perfil do sujeito. Inclusive, a consonância da terceira etapa com o processo clínico foi concordada parcialmente.

Num primeiro instante ele apenas mencionou a possibilidade de se acrescentar os exames. E que a inclusão só viria a melhorar o processo.

*“Isso só vem a somar justamente com as informações pra que é... seja alimentado o processo para um controle mais fidedigno das alterações fisiológicas do indivíduo.”*

Em outro instante, durante os questionamentos sobre a terceira etapa do processo, a “falta” de exames voltou ao discurso.

*“a questão da definição dos intervalos... é... de valores, quanto a definição das variáveis, é... vai depender da complementação através de exames laboratoriais e clínicos pra que tenha uma fidedignidade maior aos valores que vão ser estabelecidos tanto de limite quanto no controle da atividade.”*

Ao perceber que o profissional estava constantemente sugerindo que mais exames devem ser adicionados ao processo, ao mesmo foi dito que os exames podem ser adicionados sem que o processo seja comprometido. Como o modelo de referência é construído usando o conhecimento do profissional, este pode fazer uso de quaisquer recursos disponíveis, inclusive exames clínicos e laboratoriais.

**Controle** As recomendações estão de acordo com o que deveria ocorrer.

Contudo, foi observado pelo profissional que, em alguns momentos, a sequência de exibição das mensagens pode induzir o indivíduo a uma situação de risco.

*“Tem algumas situações propostas que podem estar interferindo na questão do risco para o indivíduo. Dentre elas, a sequência lógica das recomendações e alterações fisiológicas.”*

Foi verificado junto ao profissional que a frequência cardíaca tem uma certa prioridade sobre a temperatura corporal. Prioridade tanto em relação ao caso de haver alguma situação de risco quanto à sensibilidade em relação ao tempo de resposta a partir da tomada de decisão. Em outras palavras, a recomendação para diminuir a frequência cardíaca deveria ser exibida antes da recomendação para diminuir a temperatura do corpo.

**Profissional** O método será tão eficaz quanto o profissional que usá-lo.

O profissional recrutado para a entrevista falou recorrentemente sobre o profissional de saúde que venha a usar o método para definição de programa de exercícios. Segundo ele, mesmo que o método possua as características que apresenta, é imprescindível que o profissional seja competente na área.

*“É de fundamental importância que esse profissional tenha não só conhecimento da utilização do software... do instrumento, mas principalmente conhecimento da área em que está atuando e assim possa alimentar o sistema de forma correta para a definição do estado do indivíduo, das variáveis que devem ser monitoradas, dos limites que devem ser observados e das alterações que o indivíduo tem que ter durante a atividade.”*

Sendo ainda mais preciso, o profissional deixou claro que o sucesso de cada etapa dependerá da experiência do profissional.

*“a questão da definição dos intervalos de valores, quanto a definição das variáveis, vai depender não só da anamnese mas principalmente dependendo do feeling do avaliador, do profissional que vai estar trabalhando”*

Ao final da entrevista, foi perguntado se haveria algo mais a acrescentar. O profissional então fez um apanhado de tudo que já havia dito e enfatizou mais uma vez que a presença de um bom profissional é crucial para o sucesso no uso do método apresentado.

*“a qualidade vai depender do conhecimento do profissional que vai estar neste processo de avaliação, prescrição e controle da atividade e é um fator crucial justamente pra estabelecer quais alterações fisiológicas decorrentes da atividade física com a interação do ambiente devem ser restritas quando chega um determinado limite o indivíduo muda seu comportamento durante a atividade.”*

#### 4.1.3 Discussão

O profissional de saúde recrutado demonstrou pela sua formação acadêmica e experiência profissional ter pleno conhecimento sobre a área de Fisiologia do Exercício. Por isso, este

profissional foi utilizado como *padrão ouro* na comparação com as recomendações emitidas pelo modelo, bem como na opinião sobre o método para definição de programas seguros de exercícios proposto neste documento.

Para fins de apresentação do método e breve estudo sobre seu uso, optou-se por um cenário fictício simples. Visto que o tempo disponível pelo profissional era limitado, decidiu-se por usar cenários mais complexos nos testes em campo (Seção 4.4). Contudo, mesmo com um exemplo simples, foi possível identificar pontos fortes e fracos do trabalho em questão.

Em relação à análise da entrevista realizada, foi identificada a preocupação do profissional em fazer uso de exames laboratoriais e clínicos. Apesar de não estar descrito explicitamente no método aqui apresentado, resultados de exames clínicos e laboratoriais podem sim ser usados no processo de definição do modelo de referência.

O ponto forte identificado foi a solução apresentada como um todo. O profissional atestou sua confiança sobre o método e sua importância dentro do contexto utilizado como estudo de caso. Um ponto fraco de fato ressaltado pelo profissional foi a sequência de recomendações a serem seguidas em determinados traços de execução. Este problema já foi resolvido usando *prioridade entre as variáveis monitoradas*. Tal solução é apresentada na Seção 4.4.3.

Depois do processo de simulação, o profissional de saúde recrutado concordou que daria as mesmas recomendações que foram sugeridas pelo modelo de referência em cada um dos cenários apresentados. Em outras palavras, o processo de simulação mostrou que o modelo de referência pode ajudar o profissional de cuidados de saúde a acompanhar uma quantidade maior de usuários, visto que, com base nessa avaliação, tal modelo representa a opinião do especialista humano.

O entrevistado deixou bastante claro que, em sua opinião, o método será tão eficaz quanto o profissional que o utilizar. Inclusive, durante a entrevista, a frequência com que ocorreu a unidade de análise *profissional de saúde competente* denotou-lhe uma grande importância.

Em relação às respostas das questões objetivas do questionário, o profissional acabou concordando parcialmente com algumas questões. Isto foi devido ao mesmo entender que o método deveria incluir explicitamente a possibilidade de levar em consideração resultados de exames laboratoriais durante o processo de definição do modelo de referência.

Mais uma vez é importante ressaltar que o referido modelo de referência não irá eliminar a necessidade do profissional de saúde. Pois, este profissional deve estar presente na execução

do método para construir o modelo usando seu conhecimento sobre o caso em questão. Como cada caso difere dos demais, sempre será necessária a presença do profissional.

## 4.2 Verificação Formal do Modelo de Referência

Após a execução do método apresentado nesta tese, tem-se o modelo de referência que deve ser usado para a prática segura de exercício físico definida. Conforme descrito no processo, o modelo de referência resultante é específico a um indivíduo e leva em consideração o ambiente no qual o exercício será praticado, bem como qual exercício especificamente será realizado. Desta forma, um modelo de referência definido para a prática de exercício de contrarresistência (musculação) não deve servir para a prática de exercício contínuo, como corrida, por exemplo. Mesmo que seja executado pelo mesmo indivíduo.

Uma vez que o método proposto pretende manter o paciente num estado fisiológico considerado seguro, é preciso garantir que o modelo de referência represente ao paciente um modelo de comportamento em conformidade com as especificações médicas. Além disto, uma vez que um modelo errado possa conduzir o indivíduo a uma situação perigosa, e até letal, é preciso garantir que determinadas propriedades sejam satisfeitas pelo modelo.

### Definição e Verificação de Propriedades

Desta forma, durante a fase de avaliação do método junto ao profissional de saúde, foram levantadas algumas propriedades. Dentre elas, algumas foram definidas especificamente para o modelo de referência apresentado a ele, enquanto que outras foram definidas de forma genérica, podendo ser verificadas em qualquer modelo. As propriedades definidas foram classificadas em dois conjuntos.

O primeiro conjunto é o de propriedades de vivacidade, que significam que algo bom futuramente acontecerá. Já o segundo é o de propriedades de segurança, que significam que algo ruim não deve acontecer. As propriedades são:

- Propriedades de vivacidade:
  - $P_1$ : Sempre que o indivíduo estiver num estado perigoso, será possível alcançar um estado seguro.

- $P_2$ : Sempre haverá uma forma de o indivíduo permanecer num estado seguro.
- $P_3$ : Sempre que o indivíduo estiver num estado seguro, haverá pelo menos uma forma de se manter sempre em estado seguro.

- Propriedades de segurança:

Para assegurar ainda mais a confiabilidade do modelo, outras propriedades foram definidas para assegurar que algumas coisas ruins **não** acontecem:

- $P_4$ : *Não é o caso que...* sempre que o indivíduo estiver num estado perigoso, não haverá uma forma de futuramente alcançar um estado seguro.
- $P_5$ : *Não é o caso que...* sempre que o indivíduo estiver num estado seguro, não haverá uma forma de permanecer neste estado ou em outro seguro para sempre.
- $P_6$ : *Não é o caso que...* o paciente sempre estará num estado perigoso.

Três propriedades foram definidas especificamente para o modelo avaliado pelo profissional de saúde:

- $P_7$ : Caso o paciente se encontre com 125 bpm numa temperatura maior que 30°C, o estado deverá ser considerado perigoso, independente de sua velocidade.
- $P_8$ : Caso o paciente esteja correndo acima de 10 km/h numa temperatura maior que 35°C, o estado deverá ser considerado perigoso, independente de sua frequência cardíaca.
- $P_9$ : Caso a frequência cardíaca esteja acima de 130 bpm e a velocidade esteja abaixo de 10 km/h, deve haver uma forma de se parar a atividade.

Para que o modelo de referência fosse verificado formalmente, foi preciso traduzi-lo para uma linguagem com suporte para verificação automática das propriedades. Assim, optou-se por traduzir o modelo para a linguagem de autômatos. Foi utilizada a ferramenta UPPAAL<sup>1</sup> [15] para descrever graficamente o modelo, o que facilitou o processo de tradução do modelo para a linguagem usada pela ferramenta. Contudo, devido à limitações do verificador UPPAAL em se verificar fórmulas em lógica temporal aninhadas, foi usado o verificador de

---

<sup>1</sup><http://www.uppaal.org/>

modelos Divine Model Checker<sup>2</sup> [12], que é capaz de verificar modelos descritos em diversas linguagens, dentre elas, autômatos temporizados no formato do UPPAAL.

Todas as informações necessárias para a construção do modelo aceito pelas ferramentas já estão presentes no arquivo que descreve o modelo de referência. Além disso, as propriedades apresentadas  $P_n$  ( $1 \leq n \leq 9$ ) foram transcritas para fórmulas em uma linguagem da lógica temporal ramificada conhecida como *Computation Tree Logic* (CTL) [33].

A seguir, são apresentadas as fórmulas em CTL referentes às propriedades citadas anteriormente:

- $P_1: AG(dangerous \rightarrow EF(safe))$
- $P_2: EG(safe)$
- $P_3: AG(safe \rightarrow EG(safe))$
- $P_4: \neg(AG(dangerous \rightarrow \neg EF(safe)))$
- $P_5: \neg(AG(safe \rightarrow \neg EG(safe)))$
- $P_6: \neg(AG(dangerous))$
- $P_7: AG(((fc = 125) \wedge (t > 30)) \rightarrow dangerous)$
- $P_8: AG(((v > 10) \wedge (t > 35)) \rightarrow dangerous)$
- $P_9: AG(((fc > 130) \wedge (v < 10)) \rightarrow AF(v = 0))$

As proposições atômicas *dangerous* e *safe* dizem respeito à classificação dos estados em *perigoso* e *seguro*, respectivamente.

A verificação ocorreu conforme esperado. As propriedades  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_7$ ,  $P_8$  e  $P_9$  foram satisfeitas pelo modelo, enquanto que as propriedades  $P_4$ ,  $P_5$  e  $P_6$  não foram satisfeitas.

O resultado obtido nesta fase do processo avaliação demonstra a possibilidade de construção de modelos de referência em conformidade com o conhecimento e o que é esperado pelo profissional de saúde. Além disso, é demonstrado que a ferramenta de software que interage diretamente com o indivíduo executa um componente, gerado a partir da execução do método apresentado neste trabalho, já formalmente verificado. Vale a pena ressaltar que (i) é este o

---

<sup>2</sup><http://divine.fi.muni.cz/>

componente que determina as ações que o indivíduo deve tomar, e (ii) não é verificado um modelo abstrato do componente, mas o componente a ser executado propriamente dito.

### Modelo UPPAAL

Na Figura 4.2 é apresentado um recorte do modelo criado usando a ferramenta UPPAAL. Nesta representação, o estado verde representa um estado de aceitação, o branco representa um estado tolerável e o estado pintado de preto representa um estado perigoso.

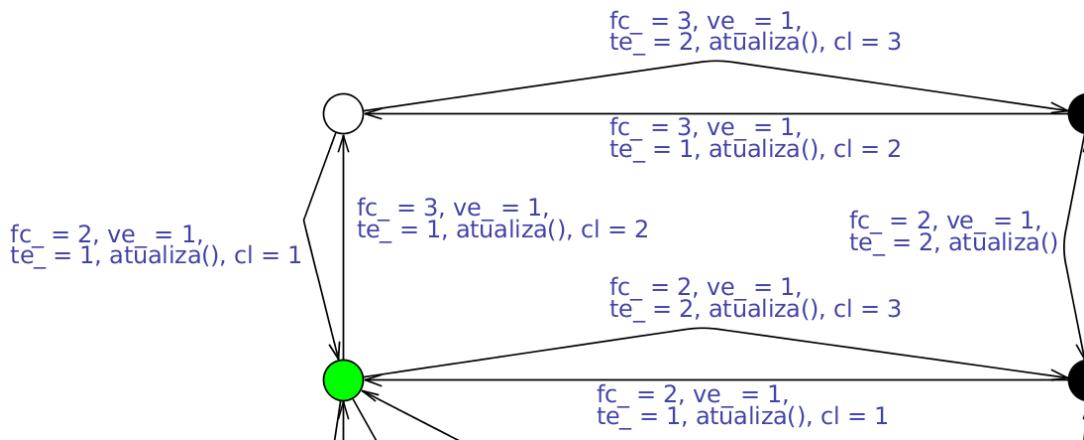


Figura 4.2: Recorte do autômato criado usando a ferramenta UPPAAL.

A execução de cada transição altera os valores das variáveis  $fc_{\_}$  (frequência cardíaca),  $te_{\_}$  (temperatura),  $ve_{\_}$  (velocidade) e  $cl$  (indica a classificação do estado). As declarações das variáveis bem como a implementação da função *void atualiza()* são apresentadas no Código Fonte 4.1.

Código Fonte 4.1: Código utilizado junto com o modelo UPPAAL.

---

```
// nomes dos estados
// variavel para determinar o nome do estado
// 1 - primeiro , 2 - segundo , 3 - terceiro
int fc_ = 1, ve_ = 1, te_ = 1;

// variavel para determinar a classificacao do estado
// 1 - aceitacao , 2 - toleravel , 3 - proibido
int cl=2;
```

```

// inicializacao das faixas de valores em seus estados iniciais
int fc_i = 60, fc_j = 100, ve_i = 0, ve_j = 5, te_i = 19, te_j = 28;

// faixas de valores
int valores[3][6] = {
    {60,100,101,120,121,140},           // freq cardiaca
    {0,5,6,9,10,14},                   // velocidade
    {19,28,29,30,31,40}              // temperatura
};

// funcao que atualiza os intervalos de valores para o estado corrente
void atualiza(){
    fc_i = valores[0][(fc_-1)*2];
    fc_j = valores[0][fc_*2-1];

    ve_i = valores[1][(ve_-1)*2];
    ve_j = valores[1][ve_*2-1];

    te_i = valores[2][(te_-1)*2];
    te_j = valores[2][te_*2-1];
}

```

---

As faixas de valores (estados) das variáveis do modelo estão armazenadas na variável *valores* que é uma matriz de inteiros de ordem  $3 \times 6$ . No Apêndice B é apresentado todo o autômato criado usando a ferramenta UPPAAL.

## 4.3 Viabilidade Técnica do Método

Já foi demonstrado que o método apresentado nesta tese está de acordo com processo clínico, segundo fora verificado junto ao profissional de saúde. Além disso, o processo de verificação formal, no qual o modelo de referência foi submetido, demonstrou a satisfatibilidade de propriedades de vivacidade e de segurança, garantindo a confiança do profissional de saúde e do indivíduo sobre este modelo. Agora é demonstrada a viabilidade técnica do método proposto.

Duas ferramentas de software foram desenvolvidas como prova de conceitos do método

apresentado neste documento. A primeira, desenvolvida para computadores desktop, foi concebida para acompanhar o profissional de saúde na construção do modelo de referência. Tal ferramenta foi utilizada para construir os modelos utilizados na avaliação junto ao profissional de saúde e todos os modelos utilizados nos experimentos em campo (Seção 4.4).

A Figura 4.3 ilustra a tela inicial da ferramenta desktop desenvolvida para acompanhar o profissional de saúde durante a construção do programa de exercício. Esta ferramenta é chamada de *SupervisorD*.

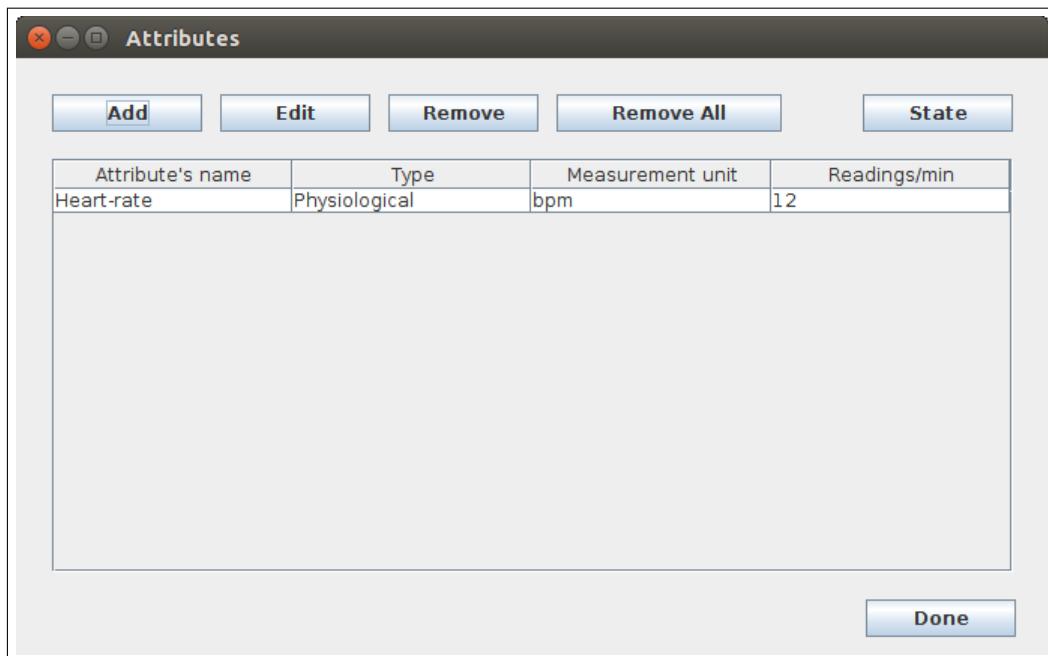


Figura 4.3: Tela principal da ferramenta desktop.

Em execuções realizadas, a ferramenta *SupervisorD* funcionou sem apresentar problemas nos ambientes: Linux Ubuntu 14.04, Linux Debian 7 (*release* 7.7), Windows 7 e Windows 8. Os testes foram realizados em ambientes com sistemas em suas versões 64 bits.

A segunda ferramenta, desenvolvida para dispositivos móveis, foi concebida para acompanhar o indivíduo durante a prática do exercício físico. Esta aplicação executa o modelo de referência fornecendo ao indivíduo recomendações para que o mesmo se exercite de forma segura. Esta ferramenta é chamada de *SupervisorM*.

A Figura 4.4 ilustra a tela inicial da ferramenta móvel desenvolvida para acompanhar o indivíduo durante a prática do exercício físico. Tal ferramenta foi utilizada durante os experimentos em campo (Seção 4.4).

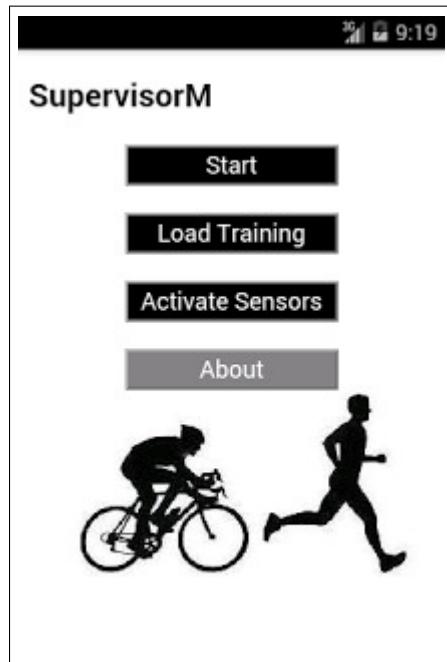


Figura 4.4: Tela principal da ferramenta móvel.

Em execuções realizadas, a aplicação *SupervisorM* funcionou sem apresentar problemas nos seguintes ambientes:

- Máquina genérica emulada: 3.2'' HVGA slider (ADP1) (320x480: mdpi). Android Platform 4.4.2. API Level 19. CPU ARM (armeabi-v7a). 512 MB of RAM.
- LG Optimus Net Dual (P698): 3.2''. Android Platform 2.3. Qualcomm MSM7227T 800 MHz. 512 MB of RAM.
- Samsung Pocket 2 Duos (SM-G110BZWDZTO): 3.3". Android Platform 4.4. 1 Ghz processor. 512 MB of RAM.

Vale ressaltar que os objetivos buscados com a implementação destas ferramentas foi a demonstração da viabilidade técnica na aplicação do método apresentado e o auxílio ferramental durante os experimentos em campo. Não foi objetivo do desenvolvimento destas ferramentas concebê-las em suas versões finais para serem usadas pelos sujeitos. Desta forma, diversos requisitos não foram levados em consideração como, por exemplo, os relacionados à interface humano máquina.

Mais detalhes sobre estas ferramentas podem ser encontrados no Apêndice C.

## 4.4 Experimentos em Campo

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos na etapa de realização dos experimentos feitos em campo. Dez sujeitos foram postos a correr em esteira ergométrica dentro de um ambiente climatizado. Antes de apresentar os resultados obtidos, são descritos os equipamentos utilizados e os procedimentos adotados para a realização dos experimentos.

### 4.4.1 Materiais e Métodos

#### Equipamentos

Devido à ausência de sensores para aferir as variáveis envolvidas nos experimentos, alguns equipamentos foram utilizados, a saber:

- **Relógio termo-higrômetro** - equipamento da marca Minipa, modelo MT-242. Foi utilizado para aferir os valores referentes à temperatura do ambiente (precisão de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) e à umidade relativa do ar (precisão de  $\pm 10\%$ ). Ilustrado na Figura 4.5a.
- **Termômetro auricular** - equipamento da marca Braun ThermoScan, modelo IRT 4520. Foi utilizado para aferir os valores referentes à temperatura corporal (precisão de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ). Ilustrado na Figura 4.5b.
- **Frequencímetro** - equipamento da marca Polar, modelos FT2 (relógio) e T31 (cinta). Foi utilizado para aferir os valores referentes à frequência cardíaca (precisão de  $\pm 1$  bpm). Ilustrado na Figura 4.5c.
- **Esteira ergométrica** - equipamento da marca EMBREEX, modelo 562. Foi utilizada para aferir os valores referentes à distância percorrida e à velocidade. Ilustrada na Figura 4.5d.

Temperaturas aferidas no interior da orelha refletem com precisão a temperatura central do corpo [43], uma vez que partes do tímpano compartilham o fornecimento de sangue com o centro de controle da temperatura no cérebro, o hipotálamo. Portanto, as alterações na temperatura do corpo são refletidas mais cedo no interior da orelha do que em outros locais, tal como a pele nas axilas. Assim, foi decidido pelo uso de um termômetro auricular em vez de um termômetro utilizado nas axilas.



(a) Temperatura ambiental e umidade relativa do ar.



(b) Temperatura corporal.



(c) Frequência cardíaca.



(d) Velocidade e distância.

Figura 4.5: Equipamentos utilizados em substituição aos sensores.

## Procedimentos

Dois profissionais da área de Educação Física, com ao menos dois anos de experiência, executaram o método apresentado nesta tese e acompanharam os testes em campo a fim de

garantir a segurança dos sujeitos envolvidos na pesquisa. Tais profissionais são formados em Licenciatura em Educação Física pela Universidade Federal de Alagoas e em Licenciatura em Ciências do Desporto e Educação Física pela Universidade de Coimbra, Portugal.

Ao todo, dez sujeitos participaram dos experimentos em campo. Estes dez sujeitos foram compostos de: quatro homens com idades entre 22 e 32 anos, e seis mulheres com idades entre 19 e 25 anos. O perfil mais detalhado de cada sujeito é apresentado mais a diante.

Esta pesquisa foi dividida em cinco momentos distintos. Em primeiro lugar, este trabalho de tese foi apresentado aos profissionais para que estes tomassem conhecimento dos objetivos envolvidos, bem como aprendessem como executar o método utilizando a ferramenta desenvolvida para a construção do modelo de referência.

Num segundo momento, uma breve explanação sobre este trabalho e seus objetivos foram apresentados aos dez sujeitos participantes da pesquisa. Logo em seguida, no terceiro instante, estes foram submetidos a anamnese para definição dos respectivos perfis e construção dos modelos de referência.

Os dois profissionais avaliaram os sujeitos colhendo informações antropométricas e entrevistando sobre os hábitos de vida destes. Todas as informações foram coletadas a partir de uma entrevista, usando como base numa anamnese simples [75] e seguindo o protocolo de Pollock [39] para definição do condicionamento físico corrente dos indivíduos. Ao final deste processo, os profissionais utilizaram as informações coletadas para construir os modelos de referência utilizando a ferramenta *SupervisorD*, o que constituiu o quarto momento deste processo.

Por fim, no quinto momento, cada um dos dez sujeitos foi posto numa esteira ergométrica na qual seguiu as recomendações emitidas pela ferramenta *SupervisorM*. A todo o instante os profissionais ficaram atentos para evitar quaisquer riscos aos sujeitos em exercício.

Conforme supracitado, dispositivos comuns foram utilizados para aferir os valores das variáveis envolvidas, uma vez que não foi possível a aquisição de sensores. Como foram levadas em consideração seis variáveis, foi necessária a participação de mais pessoas no experimento a fim de garantir a leitura adequada das variáveis: valor e frequência de leitura corretos.

A equipe que executou o experimento foi composta por cinco pessoas, a saber:

- o responsável pela pesquisa, que alimentava o aplicativo *SupervisorM* com os valores

lidos pelos demais participantes e lia em voz alta as recomendações emitidas para que o sujeito na esteira as seguisse;

- os dois profissionais de saúde, que ficaram responsáveis pelas leituras da frequência cardíaca e da temperatura do corpo; e
- dois alunos de Educação Física, que ficaram responsáveis pelas leituras da distância, velocidade, temperatura do ambiente e umidade relativa do ar.

### **Perfis dos Sujeitos**

Os 10 sujeitos que participaram dos testes obedeceram aos seguintes critérios:

- Critérios de inclusão: pessoas de quaisquer gênero e idade, aptas a praticar exercícios físicos.
- Critérios de exclusão: pessoas que, por quaisquer motivos, não estivessem aptas a se submeterem a exercícios físicos, tais como corrida em esteira ergométrica.

Os sujeitos apresentaram os seguintes perfis:

- Homens

#### **-- Sujeito 1**

Idade: 22. Peso: 62 kg. Altura: 1,80 m.

Indivíduo bastante sedentário. Não acometido por doenças.

Objetivo: adquirir condicionamento físico.

#### **-- Sujeito 2**

Idade: 23. Peso: 58 kg. Altura: 1,61 m.

Indivíduo um pouco sedentário. Não acometido por doenças.

Objetivo: adquirir condicionamento físico.

#### **-- Sujeito 3**

Idade: 28. Peso: 97 kg. Altura: 1,78 m.

Pratica voleibol regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: lazer.

**-- Sujeito 4**

Idade: 32. Peso: 97 kg. Altura: 1,95 m.

Pratica corrida regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: melhorar condicionamento físico.

- Mulheres

**-- Sujeito 5**

Idade: 19. Peso: 42 kg. Altura: 1,53 m.

Pratica musculação regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: saúde.

**-- Sujeito 6**

Idade: 19. Peso: 67 kg. Altura: 1,55 m.

Pratica caminhada regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: estética.

**-- Sujeito 7**

Idade: 20. Peso: 54 kg. Altura: 1,57 m.

Indivíduo sedentário. Não acometido por doenças (muitos cardiopatas na família).

Objetivo: saúde.

**-- Sujeito 8**

Idade: 21. Peso: 72 kg. Altura: 1,72 m.

Pratica corrida e musculação regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: melhorar condicionamento físico.

**-- Sujeito 9**

Idade: 21. Peso: 56 kg. Altura: 1,61 m.

Pratica musculação e judô regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: melhorar condicionamento físico.

**-- Sujeito 10**

Idade: 25. Peso: 62 kg. Altura: 1,56 m.

Indivíduo pratica musculação regularmente. Não acometido por doenças.

Objetivo: estética e melhorar condicionamento físico.

## 4.4.2 Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados dos testes realizados em campo e seus resultados. Dez sujeitos participaram dos testes e foram postos a correr em esteira ergométrica.

### Modelos Definidos

Para todos os sujeitos foram definidas as seguintes variáveis a serem monitoradas:

- **ambientais:** temperatura do ambiente e umidade relativa do ar.
- **comportamentais:** velocidade e distância.
- **fisiológicas:** frequência cardíaca e temperatura do corpo.

A partir das anamneses realizadas e de conversas com o profissional de Educação Física, modelos formais em comum para estas variáveis emergiram. Assim, foi percebido que a estrutura do modelo de referência para todos os sujeitos poderia ser a mesma, diferindo apenas nos intervalos de valores dos estados entre um modelo e outro.

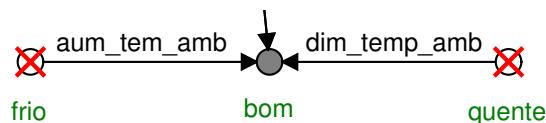


Figura 4.6: Modelo para a variável *temperatura do ambiente*.

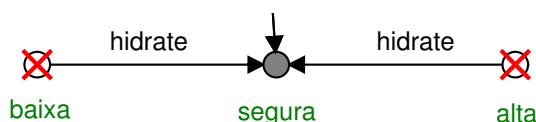


Figura 4.7: Modelo para a variável *umidade relativa do ar*.

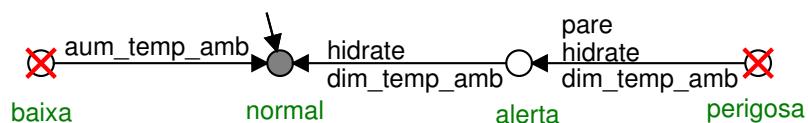
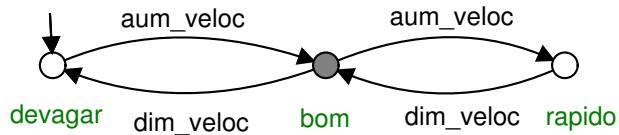
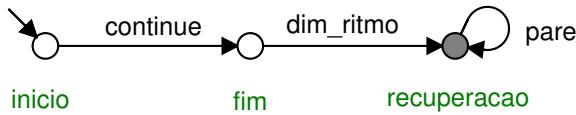
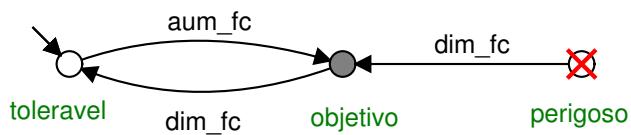


Figura 4.8: Modelo para a variável *temperatura corporal*.

Figura 4.9: Modelo para a variável *velocidade*.Figura 4.10: Modelo para a variável *distância*.Figura 4.11: Modelo para a variável *frequência cardíaca*.

Das variáveis monitoradas, três foram utilizadas com os mesmos intervalos de valores para todos os sujeitos: temperatura do ambiente, umidade relativa do ar e temperatura do corpo. Os intervalos de valores são apresentados na Tabela 4.2.

Para as outras três variáveis monitoradas (velocidade, distância e frequência cardíaca) foram utilizadas intervalos de valores distintos para os sujeitos. Os intervalos de valores distintos, para cada sujeito, são apresentados na Tabela 4.3.

### Exercício e Recomendações

O histórico de leitura dos valores das variáveis e das recomendações emitidas é apresentado para cada sujeito em sua respectiva tabela (Tabelas 4.4-4.13). Em cada uma das tabelas são apresentados o momento em que foi feita a leitura<sup>3</sup>, os valores das variáveis no momento e as recomendações emitidas pela ferramenta.

O momento apresentado na tabela está no formato de minutos, onde 0 (zero) representa a medição de todas as variáveis no início do exercício. Os valores das variáveis são apresentados como uma tupla na forma (TA,URA,TC,FC,V,D), onde:

- TA representa a temperatura do ambiente (em °C);

<sup>3</sup>O tempo decorrido entre a leitura da variável e a sua inserção no sistema foi de cerca de cinco segundos.

Tabela 4.2: Intervalos de valores comuns para todos os sujeitos.

Variável	Nome do estado	Intervalo de valores
Temperatura do ambiente (°C)	frio	[0,19)
	bom	[19,29)
	quente	[29,40]
Umidade relativa do ar (%)	baixa	[0,30)
	segura	[30,60)
	alta	[60,100]
Temperatura corporal (°C)	baixa	[30,36.5)
	normal	[36.5,40)
	alerta	[40,41.5)
	perigosa	[41.5,50]

- URA representa a umidade relativa do ar (em %);
- TC representa a temperatura do corpo (em °C);
- FC representa a frequência cardíaca (em bpm);
- V representa a velocidade (em km/h); e
- D representa a distância percorrida (em km).

Para este experimento foram definidas frequências de leitura diferentes para as variáveis monitoradas. Tais frequências foram escolhidas pelos profissionais de educação física que construíram os modelos dos sujeitos. As variáveis TA, URA e FC foram lidas duas vezes a cada minuto. Já as variáveis V e D foram lidas uma vez por minuto. Por fim, a variável TC foi lida uma vez a cada cinco minutos.

Como supradito, os programas de exercício para os dez sujeitos envolveram o uso de esteira ergométrica. Os sete primeiros sujeitos percorreram uma distância de apenas um quilômetro, visto que objetivou-se testar as respostas dadas pela ferramenta com perfis de sujeitos distintos. Os três últimos sujeitos foram submetidos ao dobro da distância objetivando testar as respostas dadas pela ferramenta em situações de exercícios completos.

Tabela 4.3: Intervalos de valores específicos para cada sujeito.

Variável	Estado	Intervalo de valores para os 10 sujeitos									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Veloc. (km/h)	devagar	[0,4)	[0,6)	[0,6)	[0,10)	[0,6)	[0,5)	[0,4)	[0,7)	[0,5)	[0,5,5)
	bom	[4,6,5)	[6,10)	[6,10)	[10,12)	[6,11)	[5,7)	[4,6,5)	[7,12)	[5,9)	[5,5,10)
	rápido	[6,5,20]	[10,20]	[10,20]	[12,20]	[11,20]	[7,20]	[6,5,20]	[12,20]	[9,20]	[10,20]
Dist. (km)	inicio	[0,1)	[0,1)	[0,1)	[0,1)	[0,1)	[0,1)	[0,1)	[0,2,2)	[0,2)	[0,2)
	fim	[1,1,01)	[1,1,01)	[1,1,01)	[1,1,01)	[1,1,01)	[1,1,01)	[1,1,01)	[2,2,2,21)	[2,2,01)	[2,2,01)
	recuperação	[1,01,10]	[1,01,10]	[1,01,10]	[1,01,10]	[1,01,10]	[1,01,10]	[1,01,10]	[2,21,10]	[2,01,10]	[2,01,10]
F.C. (bpm)	tolerável	[60,110)	[60,120)	[60,115)	[60,160)	[60,90)	[60,90)	[60,100)	[60,135)	[60,135)	[60,110)
	objetivo	[110,130)	[120,160)	[115,145)	[160,180)	[90,130)	[90,120)	[100,130)	[135,170)	[135,165)	[110,135)
	perigoso	[130,200]	[160,200]	[145,200]	[180,200]	[130,200]	[120,200]	[130,200]	[170,200]	[165,200]	[135,200]

## Sujeito 1

A Tabela 4.4 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 1 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito bastante sedentário, foi definido um exercício de baixa intensidade: andar.

Tabela 4.4: Valores de variáveis e recomendações para o *sujeito 1*.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(25.1 , 62 , 37.0 , 133 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Diminuir V   Aumentar V
0'30''	(25.1 , 62 , 37.0 , 140 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Diminuir V   Aumentar V
1'00'	(25.1 , 62 , 37.0 , 142 , 5.1 , 0.09)	Hidrate-se   Diminuir V
1'30''	(25.1 , 62 , 37.0 , 144 , 5.1 , 0.09)	Hidrate-se   Diminuir V
2'00''	(25.1 , 62 , 37.0 , 149 , 5.1 , 0.17)	Hidrate-se   Diminuir V
2'30''	(25.1 , 62 , 37.0 , 151 , 5.1 , 0.17)	Hidrate-se   Diminuir V
3'00''	(25.1 , 62 , 37.0 , 154 , 5.1 , 0.25)	Hidrate-se   Diminuir V
3'30''	(24.9 , 62 , 37.0 , 149 , 5.1 , 0.25)	Hidrate-se   Diminuir V
4'00''	(24.9 , 62 , 37.0 , 142 , 5.0 , 0.33)	Hidrate-se   Diminuir V
4'30''	(24.9 , 62 , 37.0 , 142 , 5.0 , 0.33)	Hidrate-se   Diminuir V
5'00''	(24.6 , 62 , 37.3 , 146 , 5.0 , 0.41)	Hidrate-se   Diminuir V
5'30''	(24.6 , 62 , 37.3 , 147 , 5.0 , 0.41)	Hidrate-se   Diminuir V
6'00''	(24.6 , 62 , 37.3 , 143 , 5.0 , 0.50)	Hidrate-se   Diminuir V
6'30''	(24.6 , 62 , 37.3 , 144 , 5.0 , 0.50)	Hidrate-se   Diminuir V
7'00''	(24.4 , 62 , 37.3 , 144 , 5.0 , 0.60)	Hidrate-se   Diminuir V
7'30''	(24.4 , 62 , 37.3 , 143 , 5.0 , 0.60)	Hidrate-se   Diminuir V
8'00''	(24.3 , 62 , 37.3 , 145 , 5.0 , 0.67)	Hidrate-se   Diminuir V
8'30''	(24.3 , 62 , 37.3 , 145 , 5.0 , 0.67)	Hidrate-se   Diminuir V
9'00''	(24.3 , 61 , 37.3 , 143 , 5.0 , 0.74)	Hidrate-se   Diminuir V
9'30''	(24.3 , 61 , 37.3 , 143 , 5.0 , 0.74)	Hidrate-se   Diminuir V
10'00''	(24.3 , 61 , 37.2 , 157 , 5.0 , 0.87)	Hidrate-se   Diminuir V
10'30''	(24.3 , 61 , 37.2 , 164 , 5.0 , 0.87)	Hidrate-se   Diminuir V
11'00''	(24.2 , 61 , 37.2 , 164 , 4.0 , 0.94)	Hidrate-se   Diminuir V
11'30''	(24.1 , 61 , 37.2 , 159 , 4.0 , 0.94)	Hidrate-se   Diminuir V
12'00''	(24.1 , 61 , 37.2 , 152 , 3.5 , 1.03)	Hidrate-se   Diminuir V   Aumentar V   Andar por 1 min e parar
12'30''	(24.2 , 61 , 37.2 , 148 , 3.5 , 1.03)	Hidrate-se   Diminuir V   Aumentar V   Andar por 1 min e parar

## Sujeito 2

A Tabela 4.5 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 2 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito um pouco sedentário, foi definido um exercício de baixa intensidade: andar. Contudo, a velocidade da esteira para o exercício deste sujeito foi um pouco maior do que o que fora definido para o sujeito 1.

Tabela 4.5: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 2.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(25.4 , 61 , 36.7 , 120 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Aumentar V
0'30''	(25.4 , 61 , 36.7 , 127 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Aumentar V
1'00''	(25.4 , 61 , 36.7 , 147 , 6.0 , 0.12)	Hidrate-se
1'30''	(25.4 , 61 , 36.7 , 149 , 6.0 , 0.12)	Hidrate-se
2'00''	(25.7 , 61 , 36.7 , 154 , 6.8 , 0.21)	Hidrate-se
2'30''	(25.7 , 62 , 36.7 , 157 , 6.8 , 0.21)	Hidrate-se
3'00''	(25.7 , 62 , 36.7 , 160 , 6.8 , 0.32)	Hidrate-se   Diminuir V
3'30''	(25.7 , 62 , 36.7 , 163 , 6.8 , 0.32)	Hidrate-se   Diminuir V
4'00''	(25.7 , 62 , 36.7 , 168 , 6.6 , 0.43)	Hidrate-se   Diminuir V
4'30''	(25.7 , 62 , 36.7 , 157 , 6.6 , 0.43)	Hidrate-se   Diminuir V
5'00''	(25.5 , 62 , 36.9 , 151 , 6.0 , 0.54)	Hidrate-se
5'30''	(25.5 , 62 , 36.9 , 150 , 6.0 , 0.54)	Hidrate-se
6'00''	(25.5 , 62 , 36.9 , 158 , 6.0 , 0.64)	Hidrate-se
6'30''	(25.5 , 62 , 36.9 , 152 , 6.0 , 0.64)	Hidrate-se
7'00''	(25.4 , 62 , 36.9 , 154 , 6.0 , 0.74)	Hidrate-se
7'30''	(25.4 , 62 , 36.9 , 155 , 6.0 , 0.74)	Hidrate-se
8'00''	(25.5 , 62 , 36.9 , 150 , 5.8 , 0.84)	Hidrate-se   Aumentar V
8'30''	(25.5 , 62 , 36.9 , 150 , 5.8 , 0.84)	Hidrate-se   Aumentar V
9'00''	(25.5 , 62 , 36.9 , 150 , 6.0 , 0.95)	Hidrate-se
9'30''	(25.5 , 62 , 36.9 , 152 , 6.0 , 0.95)	Hidrate-se
10'00''	(25.5 , 62 , 36.8 , 143, 4.5 , 1.04)	Hidrate-se   Aumentar V   Andar por 1 min e parar
10'30''	(25.5 , 62 , 36.8 , 135, 4.5 , 1.04)	Hidrate-se   Aumentar V   Andar por 1 min e parar

### Sujeito 3

A Tabela 4.6 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 3 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica regularmente um esporte (voleibol) e pretende fazer exercícios por lazer, foi definido um exercício de intensidade baixa a moderada: trotar.

### Sujeito 4

A Tabela 4.7 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 4 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica corrida regularmente e que pretende melhorar seu condicionamento físico, foi definido um exercício de alta intensidade: correr próximo ao limite máximo definido (12 km/h).

Tabela 4.6: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 3.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(26.2 , 60 , 36.8 , 110 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(26.2 , 60 , 36.8 , 118 , 0.0 , 0.00)	Hidrate-se   Aumentar V
1'00''	(26.2 , 60 , 36.8 , 124 , 6.2 , 0.09)	Hidrate-se
1'30''	(26.2 , 60 , 36.8 , 134 , 6.2 , 0.09)	Hidrate-se
2'00''	(26.2 , 60 , 36.8 , 140 , 6.2 , 0.20)	Hidrate-se
2'30''	(26.2 , 60 , 36.8 , 145 , 6.2 , 0.20)	Hidrate-se   Diminuir V
3'00''	(26.2 , 60 , 36.8 , 148 , 6.2 , 0.30)	Hidrate-se   Diminuir V
3'30''	(26.2 , 60 , 36.8 , 143 , 6.0 , 0.30)	Hidrate-se
4'00''	(26.2 , 60 , 36.8 , 143 , 6.0 , 0.40)	Hidrate-se
4'30''	(26.2 , 60 , 36.8 , 142 , 6.0 , 0.40)	Hidrate-se
5'00''	(26.2 , 60 , 37.3 , 142 , 6.0 , 0.51)	Hidrate-se
5'30''	(26.2 , 60 , 37.3 , 143 , 6.0 , 0.51)	Hidrate-se
6'00''	(26.7 , 60 , 37.3 , 142 , 5.6 , 0.61)	Hidrate-se   Aumentar V
6'30''	(26.7 , 60 , 37.3 , 139 , 5.6 , 0.61)	Hidrate-se   Aumentar V
7'00''	(26.6 , 60 , 37.3 , 139 , 6.0 , 0.74)	Hidrate-se
7'30''	(26.6 , 60 , 37.3 , 136 , 6.0 , 0.74)	Hidrate-se
8'00''	(26.6 , 60 , 37.3 , 138 , 6.0 , 0.82)	Hidrate-se
8'30''	(26.6 , 60 , 37.3 , 139 , 6.0 , 0.82)	Hidrate-se
9'00''	(26.6 , 60 , 37.3 , 141 , 6.5 , 0.91)	Hidrate-se
9'30''	(26.6 , 60 , 37.3 , 146 , 6.5 , 0.91)	Hidrate-se   Diminuir V
10'00''	(26.6 , 60 , 37.6 , 141 , 5.5 , 1.04)	Hidrate-se   Aumentar V   Andar por 1 min e parar
10'30''	(26.6 , 60 , 37.6 , 140 , 5.5 , 1.04)	Hidrate-se   Aumentar V   Andar por 1 min e parar

Tabela 4.7: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 4.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(18.2 , 60 , 36.3 , 93, 0.0 , 0.00)	Aumentar TA   Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(18.3 , 60 , 36.3 , 125, 0.0 , 0.00)	Aumentar TA   Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
1'00''	(18.5 , 60 , 36.3 , 131 , 9.5 , 0.17)	Aumentar TA   Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
1'30''	(18.8 , 60 , 36.3 , 133 , 9.5 , 0.17)	Aumentar TA   Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
2'00''	(19.2 , 60 , 36.3 , 144 , 10.4 , 0.30)	Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V
2'30''	(20.0 , 60 , 36.3 , 149 , 10.4 , 0.30)	Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V
3'00''	(20.3 , 60 , 36.3 , 149 , 10.4 , 0.49)	Hidrate-se   Aumentar TC   Aumentar V
3'30''	(21.3 , 59 , 36.3 , 153 , 10.4 , 0.49)	Aumentar TC   Aumentar V
4'00''	(22.0 , 59 , 36.3 , 162 , 11.8 , 0.76)	Aumentar TC
4'30''	(23.1 , 59 , 36.3 , 164 , 11.8 , 0.76)	Aumentar TC
5'00''	(23.9 , 59 , 37.4 , 164 , 11.9 , 0.89)	Continue
5'30''	(24.8 , 59 , 37.4 , 160 , 11.9 , 0.89)	Continue
6'00''	(25.1 , 59 , 37.4 , 161 , 10.0 , 1.09)	Andar por 1 min e parar
6'30''	(25.5 , 59 , 37.4 , 152 , 10.0 , 1.09)	Aumentar V   Andar por 1 min e parar

## Sujeito 5

A Tabela 4.8 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 5 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica regularmente apenas exercício contrarresistência e que busca nos exercícios adquirir/manter saúde, foi definido um exercício de intensidade baixa: alternar entre caminhar e trotar.

Tabela 4.8: Valores de variáveis e recomendações para o *sujeito 5*.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(26.4 , 57 , 36.6 , 71 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(26.4 , 57 , 36.6 , 76 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
1'00''	(26.4 , 57 , 36.6 , 80 , 4.4 , 0.07)	Aumentar V   Aumentar V
1'30''	(26.4 , 57 , 36.6 , 86 , 4.4 , 0.07)	Aumentar V   Aumentar V
2'00''	(26.4 , 57 , 36.6 , 91 , 5.0 , 0.15)	Aumentar V
2'30''	(26.4 , 57 , 36.6 , 93 , 5.0 , 0.15)	Aumentar V
3'00''	(26.4 , 57 , 36.6 , 87 , 5.4 , 0.23)	Aumentar V   Aumentar V
3'30''	(26.4 , 57 , 36.6 , 88 , 5.4 , 0.23)	Aumentar V   Aumentar V
4'00''	(26.4 , 57 , 36.6 , 90 , 6.0 , 0.31)	Continue
4'30''	(26.4 , 57 , 36.6 , 90 , 6.0 , 0.31)	Continue
5'00''	(26.4 , 57 , 37.2 , 96 , 6.0 , 0.40)	Continue
5'30''	(26.4 , 57 , 37.2 , 98 , 6.0 , 0.40)	Continue
6'00''	(26.4 , 57 , 37.2 , 95 , 6.0 , 0.50)	Continue
6'30''	(26.4 , 57 , 37.2 , 94 , 6.0 , 0.50)	Continue
7'00''	(26.4 , 57 , 37.2 , 103 , 6.0 , 0.60)	Continue
7'30''	(26.4 , 57 , 37.2 , 101 , 6.0 , 0.60)	Continue
8'00''	(26.4 , 57 , 37.2 , 105 , 6.0 , 0.70)	Continue
8'30''	(26.4 , 57 , 37.2 , 105 , 6.0 , 0.70)	Continue
9'00''	(26.4 , 57 , 37.2 , 100 , 6.0 , 0.81)	Continue
9'30''	(26.4 , 57 , 37.2 , 99 , 6.0 , 0.81)	Continue
10'00''	(26.4 , 57 , 37.4 , 96 , 6.0 , 0.91)	Continue
10'30''	(26.4 , 57 , 37.4 , 95 , 6.0 , 0.91)	Continue
11'00''	(26.4 , 57 , 37.4 , 103 , 6.0 , 1.01)	Andar por 1 min e parar
11'30''	(26.4 , 57 , 37.4 , 92 , 6.0 , 1.01)	Andar por 1 min e parar

## Sujeito 6

A Tabela 4.9 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 6 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica regularmente apenas caminhada e que se encontra um pouco acima do peso recomendado, foi definido um exercício de intensidade baixa: caminhar.

Tabela 4.9: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 6.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(26.7 , 57 , 37.3 , 80 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(26.7 , 57 , 37.3 , 91 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V
1'00''	(26.7 , 57 , 37.3 , 109 , 4.2 , 0.06)	Aumentar V
1'30''	(26.7 , 57 , 37.3 , 109 , 4.2 , 0.06)	Aumentar V
2'00''	(26.7 , 57 , 37.3 , 112 , 5.0 , 0.11)	Continue
2'30''	(26.7 , 57 , 37.3 , 112 , 5.0 , 0.11)	Continue
3'00''	(26.7 , 57 , 37.3 , 105 , 5.0 , 0.18)	Continue
3'30''	(26.7 , 57 , 37.3 , 98 , 5.0 , 0.18)	Continue
4'00''	(26.7 , 57 , 37.3 , 103 , 5.0 , 0.27)	Continue
4'30''	(26.7 , 57 , 37.3 , 102 , 5.0 , 0.27)	Continue
5'00''	(26.7 , 57 , 37.4 , 102 , 5.0 , 0.35)	Continue
5'30''	(26.7 , 57 , 37.4 , 108 , 5.0 , 0.35)	Continue
6'00''	(26.7 , 57 , 37.4 , 113 , 5.0 , 0.43)	Continue
6'30''	(26.7 , 57 , 37.4 , 115 , 5.0 , 0.43)	Continue
7'00''	(26.7 , 57 , 37.4 , 101 , 5.0 , 0.50)	Continue
7'30''	(26.7 , 57 , 37.4 , 101 , 5.0 , 0.50)	Continue
8'00''	(26.7 , 57 , 37.4 , 103 , 5.0 , 0.59)	Continue
8'30''	(26.7 , 57 , 37.4 , 102 , 5.0 , 0.59)	Continue
9'00''	(26.7 , 57 , 37.4 , 105 , 5.0 , 0.65)	Continue
9'30''	(26.7 , 57 , 37.4 , 100 , 5.0 , 0.65)	Continue
10'00''	(26.7 , 56 , 37.6 , 108 , 5.0 , 0.74)	Continue
10'30''	(26.7 , 56 , 37.6 , 107 , 5.0 , 0.74)	Continue
11'00''	(26.7 , 56 , 37.6 , 113 , 5.0 , 0.82)	Continue
11'30''	(26.7 , 56 , 37.6 , 114 , 5.0 , 0.82)	Continue
12'00''	(26.7 , 56 , 37.6 , 96 , 5.0 , 0.93)	Continue
12'30''	(26.7 , 56 , 37.6 , 95 , 5.0 , 0.93)	Continue
13'00''	(26.7 , 56 , 37.6 , 100 , 5.0 , 0.98)	Continue
13'30''	(26.7 , 56 , 37.6 , 103 , 5.0 , 0.98)	Continue
14'00''	(26.7 , 56 , 37.6 , 117 , 4.3 , 1.06)	Aumentar V   Andar por 1 min e parar
14'30''	(26.7 , 56 , 37.6 , 100 , 4.3 , 1.06)	Aumentar V   Andar por 1 min e parar

## Sujeito 7

A Tabela 4.10 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 7 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito sedentário e com casos de cardiopatia na família, foi definido um exercício de intensidade baixa: caminhar.

Tabela 4.10: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 7.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC, V , D)	Recomendações
0'00''	(26.7 , 57 , 36.6 , 89 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(26.7 , 57 , 36.6 , 93 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
1'00''	(26.7 , 57 , 36.6 , 93 , 4.1 , 0.07)	Aumentar V
1'30''	(26.7 , 57 , 36.6 , 99 , 4.1 , 0.07)	Aumentar V
2'00''	(26.7 , 57 , 36.6 , 99 , 4.6 , 0.13)	Aumentar V
2'30''	(26.7 , 57 , 36.6 , 102 , 4.6 , 0.13)	Continue
3'00''	(26.7 , 57 , 36.6 , 108 , 4.6 , 0.23)	Continue
3'30''	(26.7 , 57 , 36.6 , 104 , 4.6 , 0.23)	Continue
4'00''	(26.7 , 57 , 36.6 , 110 , 4.6 , 0.30)	Continue
4'30''	(26.7 , 57 , 36.6 , 111 , 4.6 , 0.30)	Continue
5'00''	(26.7 , 57 , 36.8 , 118 , 4.6 , 0.37)	Continue
5'30''	(26.7 , 57 , 36.8 , 125 , 4.6 , 0.37)	Continue
6'00''	(26.7 , 57 , 36.8 , 126 , 5.0 , 0.44)	Continue
6'30''	(26.7 , 57 , 36.8 , 119 , 5.0 , 0.44)	Continue
7'00''	(26.7 , 57 , 36.8 , 126 , 5.0 , 0.53)	Continue
7'30''	(26.7 , 58 , 36.8 , 128 , 5.0 , 0.53)	Continue
8'00''	(26.7 , 58 , 36.8 , 128 , 5.0 , 0.61)	Continue
8'30''	(26.7 , 58 , 36.8 , 125 , 5.0 , 0.61)	Continue
9'00''	(26.7 , 58 , 36.8 , 122 , 5.0 , 0.70)	Continue
9'30''	(26.7 , 58 , 36.8 , 124 , 5.0 , 0.70)	Continue
10'00''	(26.7 , 58 , 37.5 , 124 , 5.0 , 0.77)	Continue
10'30''	(26.7 , 58 , 37.5 , 122 , 5.0 , 0.77)	Continue
11'00''	(26.7 , 58 , 37.5 , 124 , 5.2 , 0.87)	Continue
11'30''	(26.7 , 57 , 37.5 , 122 , 5.2 , 0.87)	Continue
12'00''	(26.7 , 57 , 37.5 , 121 , 5.2 , 0.96)	Continue
12'30''	(26.7 , 57 , 37.5 , 121 , 5.2 , 0.96)	Continue
13'00''	(26.7 , 57 , 37.5 , 125 , 5.2 , 1.03)	Andar por 1 min e parar
13'30''	(26.7 , 57 , 37.5 , 110 , 5.2 , 1.03)	Andar por 1 min e parar

## Sujeito 8

A Tabela 4.11 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 8 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica corrida e musculação regularmente e que pretende melhorar seu condicionamento físico, foi definido um exercício de intensidade moderada: alternar entre trotar correr.

Tabela 4.11: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 8.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00"	(24.0 , 58 , 36.3 , 90 , 0.0 , 0.00)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
0'30"	(24.0 , 58 , 36.3 , 98 , 0.0 , 0.00)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
1'00"	(24.0 , 58 , 36.3 , 118 , 5.9 , 0.10)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
1'30"	(24.0 , 58 , 36.3 , 119 , 5.9 , 0.10)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
2'00"	(24.0 , 58 , 36.3 , 118 , 6.2 , 0.20)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
2'30"	(24.0 , 58 , 36.3 , 118 , 6.2 , 0.20)	Aumentar TC   Aumentar V   Aumentar V
3'00"	(24.4 , 58 , 36.3 , 118 , 7.0 , 0.30)	Aumentar TC   Aumentar V
3'30"	(24.4 , 58 , 36.3 , 119 , 7.0 , 0.30)	Aumentar TC   Aumentar V
4'00"	(24.6 , 58 , 36.3 , 120 , 7.0 , 0.42)	Aumentar TC   Aumentar V
4'30"	(24.6 , 58 , 36.3 , 127 , 7.5 , 0.42)	Aumentar TC   Aumentar V
5'00"	(24.6 , 58 , 36.8 , 151 , 7.5 , 0.53)	Continue
5'30"	(24.6 , 58 , 36.8 , 158 , 7.5 , 0.53)	Continue
6'00"	(24.6 , 58 , 36.8 , 158 , 7.0 , 0.65)	Continue
6'30"	(24.6 , 58 , 36.8 , 155 , 7.0 , 0.65)	Continue
7'00"	(24.6 , 58 , 36.8 , 157 , 7.1 , 0.78)	Continue
7'30"	(24.6 , 58 , 36.8 , 156 , 7.1 , 0.78)	Continue
8'00"	(24.6 , 58 , 36.8 , 156 , 7.1 , 0.89)	Continue
8'30"	(24.6 , 58 , 36.8 , 157 , 7.1 , 0.89)	Continue
9'00"	(24.6 , 58 , 36.8 , 161 , 8.0 , 1.02)	Continue
9'30"	(24.6 , 58 , 36.8 , 160 , 8.0 , 1.02)	Continue
10'00"	(24.6 , 58 , 37.1 , 160 , 8.0 , 1.15)	Continue
10'30"	(24.6 , 58 , 37.1 , 167 , 8.0 , 1.15)	Continue
11'00"	(24.6 , 58 , 37.1 , 164 , 8.5 , 1.29)	Continue
11'30"	(24.6 , 58 , 37.1 , 166 , 8.5 , 1.29)	Continue
12'00"	(24.7 , 58 , 37.1 , 169 , 8.5 , 1.45)	Continue
12'30"	(24.7 , 58 , 37.1 , 170 , 8.5 , 1.45)	Diminuir V
13'00"	(24.7 , 58 , 37.1 , 170 , 8.5 , 1.59)	Diminuir V
13'30"	(24.7 , 58 , 37.1 , 173 , 8.5 , 1.59)	Diminuir V
14'00"	(24.7 , 58 , 37.1 , 171 , 8.0 , 1.71)	Diminuir V
14'30"	(24.7 , 58 , 37.1 , 168 , 8.0 , 1.71)	Continue
15'00"	(24.7 , 58 , 37.3 , 166 , 8.0 , 1.84)	Continue
15'30"	(24.7 , 58 , 37.3 , 167 , 8.0 , 1.84)	Continue
16'00"	(24.7 , 58 , 37.3 , 167 , 8.0 , 2.00)	Continue
16'30"	(24.7 , 58 , 37.3 , 166 , 8.0 , 2.00)	Continue
17'00"	(24.7 , 58 , 37.3 , 169 , 7.5 , 2.12)	Continue
17'30"	(24.7 , 58 , 37.3 , 168 , 7.5 , 2.12)	Continue
18'00"	(24.9 , 58 , 37.3 , 165 , 7.5 , 2.24)	Andar por 1 min e parar
18'30"	(24.9 , 58 , 37.3 , 161 , 7.5 , 2.24)	Andar por 1 min e parar

## Sujeito 9

A Tabela 4.12 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 9 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica judô e musculação regularmente e

que pretende melhorar seu condicionamento físico, foi definido um exercício de intensidade moderada: trotar.

### Sujeito 10

A Tabela 4.13 apresenta os valores lidos para as variáveis do sujeito 10 e as respectivas recomendações. Por se tratar de um sujeito que pratica regularmente apenas exercício contrarresistência e que objetiva melhorar o condicionamento físico, foi definido um exercício de intensidade baixa a moderada: alternar entre caminhar e trotar.

#### 4.4.3 Discussão

Na etapa de criação dos modelos foi percebido que todos os sujeitos poderiam fazer uso de modelos de referência com a mesma estrutura, desde que os intervalos de valores para as variáveis estivessem de acordo com as respectivas aptidões e objetivos. Contudo, segundo os profissionais de saúde, para o *sujeito 4* o modelo referente à frequência cardíaca poderia também conter mais estados, representando mais intervalos de valores. A inclusão de mais estados poderia ser usada para definir um programa de exercício mais específico já que foi o sujeito mais preparado para a corrida do grupo.

Em relação às diferenças entre os programas de exercício, destaca-se o *sujeito 9*. Apesar deste possuir hábitos de vida e objetivo similares ao do *sujeito 8*, o programa de exercício definido para o *sujeito 9* foi ligeiramente mais moderado devido aos resultados obtidos a partir dos testes de aptidão física feitos pelos profissionais de saúde. Visto que a mesma estrutura para o modelo de referência foi usada com todos os sujeitos, foi suficiente definir um modelo e em seguida alterar as faixas de valores para cada sujeito.

Como dito no Capítulo 1, o ser humano é uma unidade psicossomática com comportamento altamente complexo [101]. Isto foi percebido durante a realização do experimento com o *sujeito 1*, em que sua frequência cardíaca esteve sempre acima do que fora determinado como limite seguro para a prática do exercício. Mesmo andando a uma velocidade de 5 km/h (e 4 km/h, posteriormente), a frequência cardíaca do sujeito não baixou durante todo o teste. Ao ser questionado se estava bem, o sujeito alegou estar muito nervoso por que “estava com medo de não passar no teste”. Assim, o sistema emitiu a recomendação *Diminuir V*

(diminuir velocidade) durante todo o teste, objetivando a diminuição da frequência cardíaca em decorrência disso.

Ainda em relação ao *sujeito 1*, nas duas primeiras e nas duas últimas leituras se pode observar a emissão de recomendações contraditórias: *Diminuir V* e *Aumentar V*. A primeira tenta diminuir a frequência cardíaca do sujeito enquanto que a segunda é emitida por causa da baixa velocidade do sujeito. Isso acabou demonstrando um problema no método apresentado. Contudo, uma solução já foi definida para contornar este problema e é proposta neste documento mais adiante.

Da mesma forma que ocorreu com o *sujeito 1*, os testes com os demais sujeitos apresentaram emissões de mensagens contraditórias, a saber:

- aos 10 minutos o *sujeito 2* recebeu as recomendações contraditórias: *Aumentar V* e *andar*;
- aos 10 minutos o *sujeito 3* recebeu as recomendações contraditórias: *Aumentar V* e *andar*;
- aos 6 minutos e 30 segundos o *sujeito 4* recebeu as recomendações contraditórias: *Aumentar V* e *andar*;
- aos 14 minutos o *sujeito 6* recebeu as recomendações contraditórias: *Aumentar V* e *andar*; e
- aos 20 minutos o *sujeito 9* recebeu as recomendações contraditórias: *Aumentar V* e *andar*.

Aos 19 minutos o *sujeito 10* pediu para parar o exercício alegando estar cansado demais para continuar. Então, foi orientado a caminhar por um minuto antes de parar completamente.

As mensagens contraditórias foram analisadas pelos profissionais de Educação Física e estes imediatamente indicavam qual recomendação seguir. Com base nas decisões tomadas pelos profissionais, ao se depararem com as mensagens contraditórias emitidas pelo sistema, durante os experimentos em campo, uma solução foi construída para o problema descrito.

Este problema foi contornado no modelo introduzindo o conceito de prioridade entre as variáveis monitoradas. Primeiramente o profissional de saúde deve definir uma ordem de precedência entre as variáveis. Em segundo lugar, o profissional deve criar uma tabela

cujas linhas apresentam mensagens contraditórias aos pares. Desta forma, antes de exibir as mensagens contraditórias, a ferramenta verificaria se há mensagens contraditórias. Em caso positivo, a ferramenta emitiria a mensagem correspondente à variável de maior prioridade. Ou seja, seria apresentada a mensagem correspondente à variável mais importante.

Desconsiderando a emissão das mensagens contraditórias, cujo problema já possui solução, as recomendações se mostraram adequadas à prática segura dos exercícios. Os dois profissionais de saúde que acompanham o experimento não discordaram das recomendações emitidas. Além disso, numa revisão dos *logs* dos exercícios, o pesquisador em Fisiologia do Exercício se mostrou de acordo com as recomendações.

Outro resultado foi a criação de procedimentos para a definição da classificação do estado resultante na composição paralela. Os três procedimentos, apresentados no Capítulo 3, foram definidos a partir das observações feitas sobre as decisões tomadas pelos profissionais, ao definirem os modelos de referência dos sujeitos, durante a execução destes experimentos em campo.

Apesar da avaliação das ferramentas desenvolvidas não ser objetivo deste trabalho, uma vez que foram desenvolvidas como prova de conceitos, as ferramentas demonstraram cumprir bem seus propósitos durante os experimentos em campo. A ferramenta móvel *SupervisorM* emitiu as recomendações em menos de um segundo após as entradas serem passadas. Tempo de resposta este adequado à natureza do contexto em questão.

Conforme dito no Capítulo 1, a sobrecarga de informações interfere de forma negativa no processo de tomada de decisão humano [26]. Isso ficou evidente durante todo o experimento, quando cinco pessoas foram necessárias para viabilizar todo o processo devido à quantidade de variáveis monitoradas.

Por fim, ficou demonstrado que o modelo com estrutura comum e as ferramentas funcionam a contento. Mesmo para perfis distintos, o método apresentado nesta tese pode ser usado. A exceção foi o *sujeito 1* que, devido à grande ansiedade, não apresentou as respostas fisiológicas esperadas.

## 4.5 Aspectos Éticos

Segundo a resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, toda pesquisa que envolva a participação de seres humanos deve atender às recomendações descritas nesta resolução. Ainda segundo a mesma resolução, o protocolo de pesquisa referente ao trabalho em questão deve ser apreciado por um comitê credenciado para tal. Só assim, a pesquisa poderá ser executada.

Desta forma, para viabilizar a completa avaliação deste trabalho, as fases de avaliação junto ao profissional de saúde e de experimentos em campo passaram por um processo de avaliação por parte de um CEP (Comitê de Ética em Pesquisa). O projeto descrevendo estas fases foi avaliado por um membro do CEP e aprovado pelo Parecer nº 843.787 de 23/10/2014, do Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da Universidade Federal de Alagoas, com sede na cidade de Maceió, Alagoas.

Todos os sujeitos da pesquisa (profissionais de educação física e indivíduos) assinaram os respectivos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) apresentados no Apêndice D.

Tabela 4.12: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 9.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(24.3 , 58 , 36.5 , 119 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
0'30''	(24.3 , 58 , 36.5 , 130 , 0.0 , 0.00)	Aumentar V   Aumentar V
1'00''	(24.3 , 58 , 36.5 , 155 , 7.0 , 0.13)	Continue
1'30''	(24.3 , 58 , 36.5 , 160 , 7.0 , 0.13)	Continue
2'00''	(24.3 , 58 , 36.5 , 162 , 7.0 , 0.25)	Continue
2'30''	(24.3 , 58 , 36.5 , 162 , 7.0 , 0.25)	Continue
3'00''	(24.3 , 58 , 36.5 , 161 , 7.1 , 0.34)	Continue
3'30''	(24.3 , 58 , 36.5 , 161 , 7.1 , 0.34)	Continue
4'00''	(24.3 , 58 , 36.5 , 163 , 7.1 , 0.45)	Continue
4'30''	(24.3 , 58 , 36.5 , 160 , 7.1 , 0.45)	Continue
5'00''	(24.3 , 58 , 36.9 , 157 , 5.5 , 0.57)	Continue
5'30''	(24.3 , 58 , 36.9 , 158 , 5.5 , 0.57)	Continue
6'00''	(24.3 , 58 , 36.9 , 148 , 5.5 , 0.66)	Continue
6'30''	(24.3 , 58 , 36.9 , 149 , 5.5 , 0.66)	Continue
7'00''	(24.3 , 58 , 36.9 , 148 , 5.9 , 0.76)	Continue
7'30''	(24.3 , 58 , 36.9 , 146 , 5.9 , 0.76)	Continue
8'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 148 , 6.5 , 0.86)	Continue
8'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 147 , 6.5 , 0.86)	Continue
9'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 148 , 6.6 , 0.97)	Continue
9'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 158 , 6.6 , 0.97)	Continue
10'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 166 , 7.2 , 1.11)	Diminuir V
10'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 160 , 7.2 , 1.11)	Continue
11'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 158 , 5.2 , 1.19)	Continue
11'30''	(24.4 , 58 , 36.9 , 156 , 5.2 , 1.19)	Continue
12'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 150 , 5.3 , 1.29)	Continue
12'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 140 , 5.3 , 1.29)	Continue
13'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 139 , 6.3 , 1.38)	Continue
13'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 139 , 6.3 , 1.38)	Continue
14'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 139 , 6.3 , 1.48)	Continue
14'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 151 , 6.3 , 1.48)	Continue
15'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 166 , 6.5 , 1.62)	Diminuir V
15'30''	(24.4 , 58 , 36.9 , 137 , 6.5 , 1.62)	Continue
16'00''	(24.4 , 58 , 36.9 , 138 , 5.6 , 1.70)	Continue
16'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 136 , 5.6 , 1.70)	Continue
17'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 138 , 6.6 , 1.79)	Continue
17'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 134 , 6.6 , 1.79)	Aumentar V
18'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 137 , 7.0 , 1.91)	Diminuir V
18'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 165 , 7.0 , 1.91)	Diminuir V
19'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 163 , 5.7 , 2.01)	Continue
19'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 165 , 5.7 , 2.01)	Diminuir V
20'00''	(24.5 , 58 , 36.9 , 128 , 4.2 , 2.08)	Aumentar V   Aumentar V   Andar por 1 min e parar
20'30''	(24.5 , 58 , 36.9 , 115 , 4.2 , 2.08)	Aumentar V   Aumentar V   Andar por 1 min e parar

Tabela 4.13: Valores de variáveis e recomendações para o sujeito 10.

Instante	Tupla (TA , URA , TC, FC , V , D)	Recomendações
0'00''	(32.2 , 59 , 36.8 , 100 , 0.0 , 0.00)	Diminuir TA   Aumentar V
0'30''	(32.2 , 59 , 36.8 , 109 , 0.0 , 0.00)	Diminuir TA   Aumentar V
1'00''	(32.2 , 59 , 36.8 , 122 , 5.5 , 0.12)	Diminuir TA
1'30''	(31.5 , 59 , 36.8 , 122 , 5.5 , 0.12)	Diminuir TA
2'00''	(31.1 , 59 , 36.8 , 122 , 5.5 , 0.19)	Diminuir TA
2'30''	(30.6 , 59 , 36.8 , 122 , 5.5 , 0.19)	Diminuir TA
3'00''	(30.0 , 59 , 36.8 , 123 , 5.8 , 0.30)	Diminuir TA
3'30''	(29.2 , 59 , 36.8 , 124 , 5.8 , 0.30)	Diminuir TA
4'00''	(28.6 , 59 , 36.8 , 127 , 5.8 , 0.37)	Continue
4'30''	(27.9 , 59 , 36.8 , 120 , 5.8 , 0.37)	Continue
5'00''	(26.1 , 59 , 36.8 , 115 , 5.8 , 0.45)	Continue
5'30''	(25.7 , 59 , 36.8 , 124 , 5.8 , 0.55)	Continue
6'00''	(25.3 , 59 , 36.8 , 134 , 5.8 , 0.57)	Continue
6'30''	(25.3 , 59 , 36.8 , 125 , 5.8 , 0.57)	Continue
7'00''	(25.3 , 59 , 36.8 , 122 , 6.0 , 0.66)	Continue
7'30''	(25.3 , 58 , 36.8 , 134 , 6.0 , 0.66)	Continue
8'00''	(25.3 , 58 , 36.8 , 134 , 6.0 , 0.76)	Continue
8'30''	(25.3 , 58 , 36.8 , 130 , 6.0 , 0.76)	Continue
9'00''	(25.3 , 58 , 36.8 , 130 , 6.8 , 0.87)	Continue
9'30''	(25.3 , 58 , 36.8 , 132 , 6.8 , 0.87)	Continue
10'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 121 , 5.9 , 0.98)	Continue
10'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 114 , 5.9 , 0.98)	Continue
11'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 114 , 5.9 , 1.08)	Continue
11'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 126 , 5.9 , 1.08)	Continue
12'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 123 , 5.9 , 1.18)	Continue
12'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 122 , 5.9 , 1.18)	Continue
13'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 123 , 5.9 , 1.27)	Continue
13'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 129 , 5.9 , 1.27)	Continue
14'00''	(25.4 , 58 , 36.7 , 133 , 5.9 , 1.39)	Continue
14'30''	(25.4 , 58 , 36.7 , 131 , 5.9 , 1.39)	Continue
15'00''	(25.4 , 58 , 36.7 , 124 , 5.9 , 1.48)	Continue
15'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 120 , 5.9 , 1.48)	Continue
16'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 115 , 5.9 , 1.56)	Continue
16'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 112 , 5.9 , 1.56)	Continue
17'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 115 , 5.9 , 1.67)	Continue
17'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 114 , 5.9 , 1.67)	Continue
18'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 112 , 5.9 , 1.76)	Continue
18'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 120 , 5.9 , 1.76)	Continue
19'00''	(25.3 , 58 , 36.7 , 112 , 5.0 , 1.85)	Aumentar V
19'30''	(25.3 , 58 , 36.7 , 102 , 5.0 , 1.85)	Aumentar V   Aumentar V

# **Capítulo 5**

## **Conclusão**

Neste capítulo são apresentadas as conclusões sobre o trabalho apresentado. Na Seção 5.1 são apresentadas as contribuições deste trabalho juntamente com os resultados alcançados e uma breve discussão sobre os mesmos. Na Seção 5.2 são apresentadas as limitações encontradas durante o processo de avaliação do trabalho. Já na Seção 5.3 são propostos possíveis trabalhos futuros. Por fim, as considerações finais são descritas na Seção 5.4.

### **5.1 Resultados e Discussão**

O objetivo deste trabalho foi o de prover um método baseado em modelos formais, no contexto de *cuidado de saúde pervasivo*, para guiar o indivíduo e manter seu comportamento em conformidade com as recomendações médicas durante a prática de exercícios físicos.

Foi apresentada então uma solução computacional para possibilitar a prática segura de exercícios físicos, sem a necessidade da presença do profissional de saúde, por meio de recomendações customizadas automáticas. Tais recomendações são definidas por profissionais de saúde *a priori*, sem que seja necessária a supervisão *in loco* destes profissionais.

Mais especificamente, os resultados alcançados são os enumerados a seguir.

#### **Método para a construção do programa de exercício**

Foi definido o método sistemático para a construção de programa de exercício na forma de modelo matemático. Este modelo, também denominado modelo de referência, é utilizado para que o indivíduo possa ser guiado com segurança durante a prática de exercícios físicos.

O referido método se mostrou adequado a ser inserido no processo clínico praticado atualmente pelos profissionais de saúde, mais especificamente os ligados à Educação Física. Além disso, foi verificado junto ao profissional de saúde que este método contempla etapas suficientes para a definição do programa de exercício para indivíduos de diferentes perfis e objetivos.

### **Suporte ferramental**

Duas ferramentas foram desenvolvidas para dar suporte ao método desenvolvido e apresentado neste trabalho. Ambas foram implementadas sob a licença GPLv3 e estão armazenadas no repositório público <http://github.com/el7hon/Supervisor>.

Uma ferramenta intitulada *SupervisorD* foi desenvolvida para auxiliar o profissional de saúde no processo de definição do modelo de referência. Esta ferramenta foi implementada usando tecnologia Java para que pudesse funcionar em múltiplas plataformas *desktop*.

Em testes realizados, ela funcionou conforme esperado nos seguintes ambientes: Linux Ubuntu 14.04, Linux Debian 7 (*release* 7.7), Windows 7 e Windows 8. Todos os ambientes nos quais foram realizados testes rodavam sistemas em suas versões 64 bits.

Outra ferramenta intitulada *SupervisorM* foi desenvolvida para executar o modelo de referência construído por meio da ferramenta *SupervisorD*. A ferramenta *SupervisorM* deve acompanhar o indivíduo durante a prática do exercício físico, provendo recomendações customizadas a fim de manter o comportamento do sujeito em conformidade com o que fora definido pelo profissional de saúde. Esta ferramenta deve ser instalada no dispositivo móvel do indivíduo.

Em testes realizados, a aplicação funcionou conforme esperado nas seguintes plataformas: Android 2.3, Android 4.4 e Android 4.4.2.

### **Avaliação do método**

A avaliação do método apresentado constituiu de quatro etapas que objetivaram responder, e responderam, algumas indagações gerais, a saber:

#### **1. avaliação junto ao profissional de saúde**

O método pode ser inserido no processo clínico?

O modelo de referência retém conhecimento suficiente?

O modelo de referência emite recomendações relevantes?

## 2. verificação formal do modelo de referência

O modelo de referência atende às propriedades de segurança e de vivacidade?

## 3. viabilidade técnica

O método apresentado pode ser implementado?

## 4. experimentos em campo

O método e seu suporte ferramental funcionam em casos reais?

Apesar das etapas não terem seguido, na prática, rigorosamente uma ordem linear, elas serão referenciadas pela numeração dada acima.

Na etapa 1, este trabalho foi apresentado ao profissional de saúde. Após executar o método e verificar alguns cenários simulados sobre um sujeito fictício, o profissional foi submetido a uma entrevista guiada por um questionário semi-estruturado. Foi utilizada a abordagem GQM (*Goal, Question, Metric*) para a construção do questionário. Foi utilizado o método de análise de conteúdo para analisar a transcrição da entrevista. A avaliação do método feita pelo profissional de saúde foi positiva, tendo sido apontado como problema apenas a sequência de apresentação das recomendações.

Na etapa 2, foi aplicada a técnica de verificação de modelos ao modelo de referência, construído a partir da execução do método junto ao profissional de saúde. Algumas propriedades foram definidas junto ao profissional. Algumas destas propriedades foram definidas especificamente para o modelo construído, levando em consideração os limites e as variáveis envolvidas. Outras propriedades foram definidas de forma genérica, podendo ser aplicadas a qualquer modelo. Todas as propriedades foram definidas em lógica temporal e verificadas junto ao modelo.

Na etapa 3, duas ferramentas de software foram implementadas. Além dos testes realizados durante a fase de desenvolvimento, ambas foram testadas na prática em dois momentos importantes: na etapa de avaliação junto ao profissional de saúde, e na etapa de realização dos testes em campo. As ferramentas se comportaram conforme esperado. Contudo, ainda há algumas limitações e pequenos *bugs* que devem ser contornados.

Na etapa 4, o método foi posto para avaliação em cenários reais. Um dos sujeitos não conseguiu manter sua frequência cardíaca dentro dos limites estabelecidos no modelo de

referência, mesmo seguindo as recomendações. Ao ser questionado, o sujeito demonstrou estar bastante nervoso com o teste. Os testes em campo corroboraram com a opinião do profissional recrutado em relação à sequência de emissão das recomendações. Além disso, foi percebido outro problema: a emissão de mensagens contraditórias.

### **Publicações**

Foram publicados quatro artigos relacionados à tese. Os veículos de publicação nos quais os artigos foram publicados são:

- *Symposium on the Foundations of Health Information Engineering and Systems* (FHIES'2012) [78]
- Congresso Brasileiro em Informática em Saúde (CBIS'2012) [80]
- *Lecture Notes in Computer Science* [79]
- *ICSE 2017 PhD and Young Researchers Warm Up Symposium* [77]

## **5.2 Limitações do Trabalho**

Apesar de ter se mostrado eficaz no que é proposto, este trabalho apresenta algumas limitações.

Mesmo dispensando a necessidade da presença do profissional de saúde durante a prática do exercício físico, o profissional ainda é necessário. Na verdade, o objetivo principal do trabalho não foi o de eliminar a participação do profissional, mas de minimizar a necessidade de sua participação no processo.

O modelo de referência é construído usando um formalismo que não usa o conceito de tempo explicitamente. Contudo, o tempo pode ser incluído por composição com um modelo no qual os estados representam intervalos de tempo e o “sensor” correspondente passa a ser o próprio relógio do dispositivo móvel.

Devido à natureza do contexto de aplicação do método, apenas pessoas aptas a praticar exercícios físicos podem fazer uso do método. Contudo, tal aptidão deve ser avaliada pelo profissional de saúde responsável. Não cabe fazer juízo neste trabalho sobre quais características tornam um sujeito apto ou inapto.

Conforme mencionado anteriormente, com o método original não era possível definir níveis de importância entre as variáveis envolvidas nos casos. Desta forma, havia o problema da ordem na emissão de recomendações. Uma proposta de solução para este problema já foi definido. Entretanto, ainda é preciso que tal solução seja implementada na ferramenta de software.

Outro problema relacionado com o citado anteriormente é o da exibição de recomendações contraditórias. Uma proposta de solução para este problema também já foi concebido e testado usando o *log* dos experimentos realizados. Resta apenas implementá-lo na ferramenta móvel.

Como fora demonstrado nos experimentos em campo, um dos sujeitos não conseguiu manter sua frequência cardíaca dentro dos limites estabelecidos no modelo de referência. Isso se deu devido ao nervosismo apresentado pelo sujeito durante os testes. Isso demonstrou uma limitação deste trabalho em relação às variações fisiológicas sob condições de estresse.

a complexidade do fator psicológico humano.

Por fim, outra limitação do trabalho diz respeito a obsolescência do modelo de referência. O modelo pode se tornar obsoleto em dois cenários. Num primeiro cenário o indivíduo pode seguir o programa de exercícios conforme descrito pelo profissional de saúde. Em determinado momento as condições físicas do sujeito terão evoluído a ponto de sua aptidão física estar melhor do que quando foi definido o modelo.

Num segundo cenário o contrário pode ocorrer. O sujeito pode ficar um bom tempo sem se exercitar a ponto de sua condição física piorar. Desta forma, usar o programa de exercício após um longo período sem usá-lo pode representar uma situação perigosa, visto que os limites definidos foram para um perfil com melhor aptidão física.

Desta forma, caberá sempre ao sujeito avaliar se o programa de exercício condiz com seu condicionamento físico corrente. Nos dois cenários apresentados, os sujeitos deverão procurar novamente o profissional de saúde para que este possa atualizar os modelos de referência com novos limites.

Além disso, variáveis podem ser retiradas ou postas no novo modelo, a depender do caso. Graças ao uso de autômatos, o processo de evolução do modelo é facilitado pelo uso das operações (composição e produto) que garantem manutenção de propriedades por construção.

## 5.3 Trabalhos Futuros

Alguns trabalhos podem ser desenvolvidos a partir do que fora apresentado neste documento.

É preciso realizar um estudo comparativo entre os modelos de referência gerados utilizando os diferentes procedimentos para classificação de estados marcados e proibidos, apresentados na Seção 3.6. Sabe-se que o principal parâmetro para comparação é a permissividade em relação ao que é considerado seguro/perigoso. Contudo, faz-se necessário o acompanhamento de ao menos um profissional de saúde durante o processo de comparação. Seja este processo simulado ou não.

É preciso implementar as soluções desenhadas para os problemas da ordem de emissão de recomendações e da emissão de recomendações contraditórias. Além disso, é necessário disponibilizar na ferramenta *SupervisorD* a opção de escolha entre os diferentes tipos de procedimentos para classificação de estados do modelo final. Por enquanto, esta escolha vem sendo feita ao nível de código fonte. Outro componente a ser implementado é o de tradução do modelo de referência para um modelo no formato do UPPAAL.

O trabalho apresentado não fez uso de sensores com capacidade para comunicação sem fio. Um possível trabalho futuro poderia ser a implementação da comunicação entre a ferramenta móvel e os sensores que venham sendo disponibilizados no mercado. Somado a isto, os experimentos podem ser refeitos sempre que um sensor for acoplado à solução. Assim que todos os sensores estiverem disponíveis e conectados, haverá um produto mais preparado para testes em outros ambientes, tais como espaços abertos.

Uma vez que o método faz uso de autômatos para construir o modelo de referência, este trabalho poderia ser estendido usando conceitos da teoria do controle supervisório [22]: *suprema sublinguagem controlada*, onde o sujeito receberia recomendações mais restritivas do que o seu perfil exigiria, contudo, o exercício ainda surtiria algum efeito; e *ínfima superlinguagem controlável*, onde as recomendações seriam mais permissivas ao sujeito, contudo, sem expor o indivíduo a situações perigosas. Estas situações podem ocorrer devido à falha de algum sensor ou mesmo devido à impossibilidade de seguir alguma recomendação por causa de imprevistos. Tais imprevistos podem ocorrer principalmente em ambientes não controlados, como é o caso de ambientes abertos.

Outro possível trabalho futuro é o estudo de técnicas automáticas para contornar o

problema da obsolescência do modelo de referência. O modelo poderia se adaptar à evolução do sujeito na medida em que as variáveis fisiológicas forem apresentando valores diferentes apesar das variáveis comportamentais se manterem as mesmas. Isto pode representar tanto adaptação aos exercícios quanto despreparo para os mesmos.

## 5.4 Considerações Finais

Este trabalho apresentou um método baseado em modelos formais para extrair o conhecimento humano de forma consistente e estruturada. Tal método foi aplicado no contexto de *cuidado de saúde pervasivo* para guiar indivíduos durante a prática de exercícios físicos mantendo seus comportamentos em conformidade com as recomendações dos profissionais de saúde. Desta forma, foi possível apresentar uma solução computacional capaz de prover controle fisiológico do indivíduo por meio de recomendações.

Duas ferramentas de software foram desenvolvidas, demonstrando assim a viabilidade técnica do método em questão. Além disso, por meio de simulações e experimentos em campo, foi demonstrada a aplicabilidade e importância deste trabalho. Com isso, foi demonstrado também que não há necessidade da presença do profissional durante os exercícios, que otimiza o uso do especialista.

Outra vantagem no uso das ferramentas é o uso do arquivo de *log* produzido durante os exercícios. Este arquivo pode ser usado para que o profissional possa revisar como foi o exercício. Desta forma, propondo adaptações ao modelo de referência em uso.

Também foram identificados limitações e problemas com o método em questão. Para alguns destes problemas já foram definidas possíveis soluções.

O uso de equipamentos sem conectividade, e a consequente utilização da ferramenta móvel de forma manual, se deu para viabilizar os experimentos em campo. Num cenário ideal, todos os equipamentos envolvidos estariam interligados. Além disso, o usuário não receberia mensagens para aumentar ou diminuir a velocidade da esteira, por exemplo.

A própria aplicação móvel enviaria um comando para a esteira para que esta alterasse o ritmo de corrida. O condicionador de ar, por sua vez, receberia comandos para tornar o clima mais confortável de acordo com as informações fisiológicas correntes e as descrições no modelo de referência. Assim, o ambiente poderia se adaptar às necessidades do sujeito.

Por fim, considerando a aplicabilidade e as lacunas deste trabalho, alguns direcionamentos para trabalhos futuros foram apontados.

# Bibliografia

- [1] Association for Computing Machinery. URL: [www.acm.org](http://www.acm.org). Último acesso em 19/02/2015.
- [2] Agência Nacional de Saúde Suplementar. *Promoção da Saúde e Prevenção de Riscos e Doenças na Saúde Suplementar*, 2 edition, 2007.
- [3] Bowen Alpern and Fred Schneider. Recognizing safety and liveness. *Distributed Computing*, 2(3):117--126, 1987.
- [4] Lars Andersen, Mette Zebis, Mogens Pedersen, Kirsten Roessler, Christoffer Andersen, Mette Pedersen, Helene Feveile, Ole Mortensen, and Gisela Sjøgaard. Protocol for work place adjusted intelligent physical exercise reducing musculoskeletal pain in shoulder and neck (vims): a cluster randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 11(1):173, 2010.
- [5] David Arney, Miroslav Pajic, Julian M. Goldman, Insup Lee, Rahul Mangharam, and Oleg Sokolsky. Toward patient safety in closed-loop medical device systems. In *Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, ICCPS '10, pages 139--148, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [6] L. Bahia, E. S. Coutinho, L. A. Barufaldi, G. d. e. A. Abreu, T. A. Malhao, C. P. de Souza, and D. V. Araujo. The costs of overweight and obesity-related diseases in the Brazilian public health system: cross-sectional study. *BMC Public Health*, 12:440, 2012.
- [7] Christel Baier and Joost-Pieter Katoen. *Principles of Model Checking*. The MIT Press, 2008.

- [8] Marcos Alencar Abaide Balbinotti, Marcus Levi Lopes Barbosa, Carlos Adelar Abaide Balbinotti, and Ricardo Pedrozo Saldanha. Motivação à prática regular de atividade física: um estudo exploratório. *Estudos de Psicologia (Natal)*, 16:99 -- 106, 04 2011.
- [9] Dipali Bansal, Munna Khan, and Ashok K. Salhan. A computer based wireless system for online acquisition, monitoring and digital processing of ecg waveforms. *Computers in Biology and Medicine*, 39(4):361--367, Apr 2009.
- [10] Laurence Bardin. *Análise de Conteúdo (Em Português do Brasil)*. Edições 70, 2011.
- [11] Jakob Eyvind Bardram. Pervasive healthcare as a scientific discipline. *Methods of information in medicine*, 47(3):178--185, 2008.
- [12] J. Barnat, L. Brim, V. Havel, J. Havlíček, J. Kriho, M. Lenčo, P. Ročkai, V. Štill, and J. Weiser. DiVinE 3.0 -- An Explicit-State Model Checker for Multithreaded C & C++ Programs. In *Computer Aided Verification (CAV 2013)*, volume 8044 of *LNCS*, pages 863--868. Springer, 2013.
- [13] Victor R. Basili, Gianluigi Caldiera, and H. Dieter Rombach. The goal question metric approach. In *Encyclopedia of Software Engineering*. Wiley, 1994.
- [14] K. Becher, C. P. Figueiredo, C. Mühle, R. Ruff, P. M. Mendes, and K. Hoffmann. *Design and realization of a wireless sensor gateway for health monitoring*, pages 374--377. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Aug 2010.
- [15] Gerd Behrmann, Alexandre David, and Kim Larsen. A tutorial on UPPAAL. In Marco Bernardo and Flavio Corradini, editors, *Formal Methods for the Design of Real-Time Systems: 4th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication, and Software Systems, SFM-RT 2004*, number 3185 in *LNCS*, pages 200--236. Springer--Verlag, September 2004.
- [16] Franca Bianchini, Rudolf Kaaks, and Harri Vainio. Weight control and physical activity in cancer prevention. *Obesity Reviews*, 3(1):5--8, February 2002.
- [17] Sally Brailsford and Bernd Schmidt. Towards incorporating human behaviour in models of health care systems: An approach using discrete event simulation. *Euro-*

- pean Journal of Operational Research, 150(1):19--31, 2003. O.R. Applied to Health Services.
- [18] A. Burgos, A. Goñi andi, A. Illarramendi, and J. Bermudez. Real-Time detection of apneas on a PDA. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 14(4):995--1002, July 2010.
  - [19] Angelica Toffano Seidel Calazans, Ricardo Ajax Dias Kosloski, and Luiz Carlos Miyadaira Ribeiro Junior. Proposal for a measurement model for software tests with a focus on the management of outsourced services. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 9(2), Aug 2012.
  - [20] L. Cantu, I.Y. Sanchez, L. Garza-Castanon, and S.O. Martinez. Feedforward compensation of exercise in diabetes. In *Control Automation (MED), 2010 18th Mediterranean Conference on*, pages 1335 --1340, june 2010.
  - [21] R. Carroll, R. Cnossen, M. Schnell, and D. Simons. Continua: An interoperable personal healthcare ecosystem. *Pervasive Computing, IEEE*, 6(4):90--94, 2007.
  - [22] Christos G. Cassandras and Stephane Lafourture. *Introduction to Discrete Event Systems*. Springer, 1 edition, September 1999.
  - [23] John Cawley and Chad Meyerhoefer. The medical care costs of obesity: An instrumental variables approach. *Journal of Health Economics*, 31(1):219 -- 230, 2012.
  - [24] Jane Coughlan, Mark Lycett, and Robert D. Macredie. Communication issues in requirements elicitation: a content analysis of stakeholder experiences. *Information and Software Technology*, 45(8):525 -- 537, 2003.
  - [25] S. Coyle, D. Morris, K.-T. Lau, D. Diamond, F. Di Francesco, N. Taccini, M.G. Trivella, D. Costanzo, P. Salvo, J.-A. Porchet, and J. Luprano. Textile sensors to measure sweat ph and sweat-rate during exercise. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare, 2009. PervasiveHealth 2009. 3rd International Conference on*, pages 1--6, April 2009.

- [26] Mary L. Cummings, Sylvain Bruni, and Paul J. Mitchell. Human supervisory control challenges in network-centric operations. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 6(1):34--78, Nov 2010.
- [27] V. F. Curto, N. Angelov, S. Coyle, R. Byrne, S. Hughes, N. Moyna, D. Diamond, and F. Benito-Lopez. ‘My sweat my health’: Real time sweat analysis using wearable micro-fluidic devices. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2011 5th International Conference on*, pages 196--197, May 2011.
- [28] Grace Lindsay D. Affection games in digital play: A content analysis of web playable games. In *DiGRA '13 - Proceedings of the 2013 DiGRA International Conference: DeFragging Game Studies*, 2014.
- [29] Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Situação de Saúde, editor. *Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil 2011-2022*. Assessoria de Comunicação/GAB/MS, 2011.
- [30] Marília de Brito Gomes and Antonio Carlos Lerario, editors. *Diretrizes da Sociedade Brasileira de Diabetes 2009*. Sociedade Brasileira de Diabetes, 3 edition, 2009.
- [31] Cláudia Lúcia de Moraes Forjaz and Valmor Tricoli. A fisiologia em educação física e esporte. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 25(spe):7--13, 2011.
- [32] Carol Hall Ellenbecker, Linda Samia, Margaret J. Cushman, and Kristine Alster. Chapter 13. patient safety and quality in home health care, 2008.
- [33] E. Allen Emerson and Joseph Y. Halpern. Decision procedures and expressiveness in the temporal logic of branching time. *Journal of Computer and System Sciences*, 30(1):1 -- 24, 1985.
- [34] Brandão et al. Conceituação, epidemiologia e prevenção primária. *Revista Brasileira de Hipertensão*, 17(1):7--10, March 2010. VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão.
- [35] J. Fasola and M. J. Mataric. Robot exercise instructor: A socially assistive robot system to monitor and encourage physical exercise for the elderly. In *RO-MAN, 2010 IEEE*, pages 416 --421, sept. 2010.

- [36] Foundations of Health Information Engineering and Systems. URL: <http://fhies-sehc.in.tu-clausthal.de/>. Último acesso em 19/02/2015.
- [37] Joseph Finkelstein and In cheol Jeong. Design and implementation of home automated telemanagement platform for interactive biking exercise (ibike hat). In *Point-of-Care Healthcare Technologies (PHT), 2013 IEEE*, pages 236--239, January 2013.
- [38] Gerald Fletcher and Jorge F. Trejo. Why and how to prescribe exercise: Overcoming the barriers. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 72(8):645--649, August 2005.
- [39] Carl Foster, Andrew S. Jackson, Michael L. Pollock, Mary M. Taylor, John Hare, Sheila M. Sennett, Joe L. Rod, Mohammed Sarwar, and Donald H. Schmidt. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *American Heart Journal*, 107(6):1229 -- 1234, 1984.
- [40] L. O. Freitas, G. R. Librelotto, H. G. G. Pereira, J. Kasper, R. G. Martini, B. Mozzaquattro, and R. T. Pereira. Applying pervasive computing in an architecture for homecare environments. In *Ubiquitous Intelligence Computing and 9th International Conference on Autonomic Trusted Computing (UIC/ATC), 2012 9th International Conference on*, pages 685--692, 2012.
- [41] T. Fujiwara, M. Kawamura, J. Nakajima, T. Adachi, and K. Hiramori. Seasonal differences in diurnal blood pressure of hypertensive patients living in a stable environmental temperature. *Journal of Hypertension*, 13(12 Pt 2):1747--1752, December 1995. PMID: 8903645.
- [42] C. E. Garber, B. Blissmer, M. R. Deschenes, B. A. Franklin, M. J. Lamonte, I. M. Lee, D. C. Nieman, and D. P. Swain. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7):1334--1359, Jul 2011.
- [43] John E. Hall. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*, 12e. Saunders, 2010.
- [44] R. Norman Harden, Sharon Song, Jo Fasen, Samuel L. Saltz, Devi Nampiaparampil,

- Andrew Vo, and Gadi Revivo. Home-based aerobic conditioning for management of symptoms of fibromyalgia: A pilot study. *Pain Med*, 2012.
- [45] Chenguang He, Xiaomao Fan, and Ye Li. Toward ubiquitous healthcare services with a novel efficient cloud platform. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 60(1):230--234, 2013.
- [46] T. C. T. Ho and Xiang Chen. Exertrek: A portable handheld exercise monitoring, tracking and recommendation system. In *e-Health Networking, Applications and Services, 2009. Healthcom 2009. 11th International Conference on*, pages 84 --88, dec. 2009.
- [47] John E. Hopcroft, Rajeev Motwani, and Jeffrey D. Ullman. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (3rd Edition)*. Prentice Hall, 2006.
- [48] K. Huang, P. Sparto, S. Kiesler, D. Siewiorek, and A. Smailagic. ipod for home balance rehabilitation exercise monitoring. In *Wearable Computers (ISWC), 2012 16th International Symposium on*, pages 116--117, June 2012.
- [49] Institute of Electrical and Electronics Engineers. URL: [www.ieee.org](http://www.ieee.org). Último acesso em 19/02/2015.
- [50] Peter Jackson. *Introduction To Expert Systems (3rd Edition)*. Addison-Wesley, 1998.
- [51] Z. Jiang, A. Connolly, and R. Mangharam. Using the Virtual Heart Model to validate the mode-switch pacemaker operation. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2010:6690--6693, 2010.
- [52] Zhihao Jiang, M. Pajic, and R. Mangharam. Model-based closed-loop testing of implantable pacemakers. In *Cyber-Physical Systems (ICCPs), 2011 IEEE/ACM International Conference on*, pages 131--140, 2011.
- [53] Zhihao Jiang, Miroslav Pajic, Salar Moarref, Rajeev Alur, and Rahul Mangharam. Modeling and verification of a dual chamber implantable pacemaker. In *Proceedings of the 18th international conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems*, TACAS'12, pages 188--203, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer-Verlag.

- [54] Edmund M. Clarke Jr., Orna Grumberg, and Doron A. Peled. *Model Checking*. The MIT Press, 1999.
- [55] Oğuz Karan, Canan Bayraktar, Haluk Gümüşkaya, and Bekir Karlık. Diagnosing diabetes using neural networks on small mobile devices. *Expert Systems with Applications*, 39(1):54 -- 60, 2012.
- [56] W. L. Kenney, J. H. Wilmore, and D. L. Costill. *Fisiologia do esporte e do exercício. Barueri*. Manole, 2013.
- [57] T. Kiryu and K. Yamashita. A ubiquitous wearable unit for controlling muscular fatigue during cycling exercise sessions. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE*, pages 4814--4817, August 2007.
- [58] F. Klompaker, K. Nebe, C. Busch, and D. Willemsen. Designing context aware user interfaces for online exercise training supervision. In *Human System Interactions, 2009. HSI '09. 2nd Conference on*, pages 132 --135, may 2009.
- [59] A. Koenig, D. Novak, X. Omlin, M. Pulfer, E. Perreault, L. Zimmerli, M. Mihelj, and R. Riener. Real-time closed-loop control of cognitive load in neurological patients during robot-assisted gait training. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on*, 19(4):453--464, August 2011.
- [60] Rensis Likert. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140):1--55, 1932.
- [61] Chung-Chih Lin, Ren-Guey Lee, and Chun-Chieh Hsiao. A pervasive health monitoring service system based on ubiquitous network technology. *International Journal of Medical Informatics*, 77(7):461--469, Jul 2008.
- [62] S. Makonin, L. Bartram, and F. Popowich. A smarter smart home: Case studies of ambient intelligence. *Pervasive Computing, IEEE*, 12(1):58--66, 2013.
- [63] J. Mattila, Hang Ding, E. Mattila, and A. Sarela. *Mobile tools for home-based cardiac rehabilitation based on heart rate and movement activity analysis*, pages 6448--6452. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Sep 2009.

- [64] William D. McArdle, Frank I. Katch, and Victor L. Katch. *Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano*, chapter Sistema Cardiovascular. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- [65] William D. McArdle, Frank I. Katch, and Victor L. Katch. *Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano*, chapter Exercício e Estresse Térmico. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- [66] William D. McArdle, Frank I. Katch, and Victor L. Katch. *Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano*, chapter Vitaminas, Minerais e Água. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- [67] William D. McArdle, Frank I. Katch, and Victor L. Katch. *Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano*, chapter Regulação e Integração Cardiovesselares. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- [68] R. J. McManus, P. Glasziou, A. Hayen, J. Mant, P. Padfield, J. Potter, E. P. Bray, and D. Mant. Blood pressure self monitoring: questions and answers from a national conference. *BMJ*, 337(dec22 1):a2732--a2732, Dec 2008.
- [69] Katarina Melzer, Bengt Kayser, and Claude Pichard. Physical activity: the health benefits outweigh the risks. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 7(6):641--647, November 2004. PMID: 15534432.
- [70] Shanthi Mendis. *Global status report on noncommunicable diseases 2014*. World Health Organization, 2014.
- [71] Humberto Miranda, Roberto Simão, Adriana Lemos, Bernardo Henrique Alexander Dantas, Luiz Alberto Baptista, and Jefferson Novaes. Análise da freqüência cardíaca, pressão arterial e duplo-produto em diferentes posições corporais nos exercícios resistidos. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 11(5):295--298, October 2005.
- [72] Roque Moraes. Análise de conteúdo. *Revista Educação*, 22(37):7--32, 1999. Porto Alegre.

- [73] J. P. Moriarty, M. E. Branda, K. D. Olsen, N. D. Shah, B. J. Borah, A. E. Wagie, J. S. Egginton, and J. M. Naessens. The effects of incremental costs of smoking and obesity on health care costs among adults: a 7-year longitudinal study. *J. Occup. Environ. Med.*, 54(3):286--291, Mar 2012.
- [74] D. Morris, B. Schazmann, Zhijun Wang, C. Fay, S. Beirne, C. Slater, K.T. Lau, G. Wallace, and D. Diamond. Wearable technology for the real-time analysis of sweat during exercise. In *Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies, 2008. ISABEL '08. First International Symposium on*, pages 1--2, October 2008.
- [75] Francisco Navarro, Francisco Luciano Pontes Júnior, Mário Augusto Charro, and Reury Frank Pereira Bacurau. *Manual de Avaliação Física*. Phorte, 2010.
- [76] Institute of Electrical, Electronics Engineers, J. Radatz, and IEEE Computer Society. Standards Coordinating Committee. *The IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms*. IEEE (std.). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1997.
- [77] Elthon Oliveira. Safe monitoring of physical exercises. In *Anais do ICSE 2017 SYMPOSIUM*, volume 1, page 67, September 2014.
- [78] Elthon Oliveira, Leandro Silva, Hyggo Almeida, and Angelo Perkusich. An approach for controlling human physiology based on supervisory control theory. In Isabelle Perseille and Jens H. Weber-Jahnke, editors, *Pre-Proceedings of the 2nd Intl Symposium on the Foundations of Health Information Engineering and Systems - FHIES 2012*, pages 177--184, September 2012.
- [79] Elthon Oliveira, Leandro Silva, Hyggo Almeida, and Angelo Perkusich. Model-based solution for controlling physiology. In Jens Weber and Isabelle Perseil, editors, *Foundations of Health Information Engineering and Systems*, volume 7789 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 167--175. Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [80] Elthon Oliveira, Leandro Silva, Arnaldo Tenório, Hyggo Almeida, and Angelo Perkusich. Controlled and safe physical activities. In *Anais do XIII Congresso Brasileiro em Informática em Saúde - CBIS 2012*, November 2012.

- [81] World Health Organization. *Global action plan for the prevention and control of NCDs 2013-2020*. World Health Organization, 2013.
- [82] World Health Organization. *Noncommunicable Disease Country Profiles 2014*. World Health Organization, 2014.
- [83] Akin Özçift. Random forests ensemble classifier trained with data resampling strategy to improve cardiac arrhythmia diagnosis. *Computers in Biology and Medicine*, 41(5):265--271, May 2011.
- [84] A. Padovitz, S. W. Loke, and A. Zaslavsky. Multiple-agent perspectives in reasoning about situations for context-aware pervasive computing systems. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on*, 38(4):729 --742, july 2008.
- [85] F. Paganelli and D. Giuli. An ontology-based context model for home health monitoring and alerting in chronic patient care networks. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007, AINAW '07. 21st International Conference on*, volume 2, pages 838--845, 2007.
- [86] M. Pajic, R. Mangharam, O. Sokolsky, D. Arney, J. Goldman, and I. Lee. Model-driven safety analysis of closed-loop medical systems. *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 10(1):3--16, Feb 2014.
- [87] Miroslav Pajic, Zhihao Jiang, Insup Lee, Oleg Sokolsky, and Rahul Mangharam. From verification to implementation: A model translation tool and a pacemaker case study. In *Proceedings of the 2012 IEEE 18th Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium, RTAS '12*, pages 173--184, Washington, DC, USA, 2012. IEEE Computer Society.
- [88] Zhibo Pang, Qiang Chen, and Lirong Zheng. A pervasive and preventive healthcare solution for medication noncompliance and daily monitoring. In *Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies, 2009. ISABEL 2009. 2nd International Symposium on*, pages 1--6, November 2009.

- [89] Alexandros Pantelopoulos and Nikolaos G. Bourbakis. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 40(1):1--12, January 2010.
- [90] Russell R. Pate and J. Larry Durstine. Exercise physiology and its role in clinical sports medicine. *Southern medical journal*, 97(9):881--885, 2004.
- [91] IEEE Pervasive Computing and Communication. URL: [www.percom.org](http://www.percom.org). Último acesso em 19/02/2015.
- [92] International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. URL: <http://pervasivehealth.org/>. Último acesso em 19/02/2015.
- [93] S. M. A. Prakash and T. Naveen. Pervasive computing application in vehicular technology. In *Innovations in Emerging Technology (NCOIET), 2011 National Conference on*, pages 165--169, 2011.
- [94] B. RajaKumar, T. F. M. Raj, S. Swaminathan, K. Rajesh, and G. Rajeshkumar. Presence sensor based medical monitoring model with intelligent response system. In *Computer Communication and Informatics (ICCCI), 2013 International Conference on*, pages 1--4, 2013.
- [95] A. Reiss, D. Stricker, and I. Lamprinos. An integrated mobile system for long-term aerobic activity monitoring and support in daily life. In *Trust, Security and Privacy in Computing and Communications (TrustCom), 2012 IEEE 11th International Conference on*, pages 2021--2028, 2012.
- [96] Irwin M. Rosenstock. Enhancing patient compliance with health recommendations. *Journal of Pediatric Health Care*, 2(2):67 -- 72, 1988.
- [97] Ziad Sankari and Hojjat Adeli. HeartSaver: a mobile cardiac monitoring system for auto-detection of atrial fibrillation, myocardial infarction, and atrio-ventricular block. *Computers in Biology and Medicine*, 41(4):211--220, April 2011. PMID: 21377149.
- [98] Sociedade Brasileira de Computação. URL: [www.sbc.org.br](http://www.sbc.org.br). Último acesso em 19/02/2015.

- [99] Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva. URL: [http://csbc2015.cin.ufpe.br/eventos\\_descricao/13](http://csbc2015.cin.ufpe.br/eventos_descricao/13). Último acesso em 19/02/2015.
- [100] E. Scheinerman. *Mathematics: A Discrete Introduction*. Cengage Learning, 2012.
- [101] Bernd Schmidt. Human Factors in Complex Systems - The Modelling of Human Behaviour. In *Proceedings of 19th European Conference on Modelling and Simulation*, pages 5--14, 2005.
- [102] Sweta Sneha and Upkar Varshney. Enabling ubiquitous patient monitoring: Model, decision protocols, opportunities and challenges. *Decis. Support Syst.*, 46(3):606--619, February 2009.
- [103] Monica Tentori, Gillian R. Hayes, and Madhu Reddy. Pervasive computing for hospital, chronic, and preventive care. *Foundations and Trends® in Human–Computer Interaction*, 5(1):1--95, 2012.
- [104] A. Torrado-Carvajal, M. C. Rodriguez-Sanchez, A. Rodriguez-Moreno, S. Borromeo, C. Garro-Gomez, J. A. Hernandez-Tamames, and M. Luaces. Changing communications within hospital and home health care. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, pages 6074--6077, 2012.
- [105] A. K. Triantafyllidis, V. G. Koutkias, I. Chouvarda, and N. Maglaveras. A pervasive health system integrating patient monitoring, status logging, and social sharing. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, 17(1):30--37, 2013.
- [106] ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. URL: [www.ubicomp.org](http://www.ubicomp.org). Último acesso em 19/02/2015.
- [107] C. P. Valcke and H. J. Chizeck. Closed-loop drug infusion for control of heart-rate trajectory in pharmacological stress tests. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*, 44(3):185--195, march 1997.
- [108] E. Versi. “Gold standard” is an appropriate term. *BMJ*, 305(6846):187, Jul 1992.
- [109] Mark Weiser. The computer for the 21st century. *Scientific American*, February 1991.

- [110] P. J. Wijkstra, R. Van Altena, J. Kraan, V. Otten, D. S. Postma, and G. H. Koëter. Quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease improves after rehabilitation at home. *European Respiratory Journal*, 7(2):269--273, Feb 1994.
- [111] P. Wilmshurst. Temperature and cardiovascular mortality. *BMJ*, 309(6961):1029--1030, October 1994.
- [112] Farid Yaghoubi, Ahmad Ayatollahi, Reihaneh Bahramali, Maryam Yaghoubi, and Amir Hossein Alavi. Towards automatic detection of atrial fibrillation: A hybrid computational approach. *Computers in Biology and Medicine*, 40(11-12):919--930, December 2010. PMID: 21051039.
- [113] M. Younas and I. Awan. Mobility management scheme for context-aware transactions in pervasive and mobile cyberspace. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 60(3):1108--1115, 2013.
- [114] Didar Zowghi and Chad Coulin. Requirements elicitation: A survey of techniques, approaches, and tools. In Aybüke Aurum and Claes Wohlin, editors, *Engineering and Managing Software Requirements*, pages 19--46. Springer Berlin Heidelberg, 2005.

# Apêndice A

## Instrumento de Coleta de Dados

Instrumento de coleta utilizado  
(ao profissional de Educação Física)

TESTES EM SIMULAÇÃO E EM CAMPO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA  
ACOMPANHAMENTO DE INDIVÍDUOS NA PRÁTICA DE EXERCÍCIOS FÍSICOS

### Roteiro para aplicação da entrevista

#### Entrevistado

Nome: \_\_\_\_\_  
Data de nascimento: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
Formação acadêmica: \_\_\_\_\_

#### Sobre o método

A seguir são feitas algumas afirmações sobre o método proposto. Para cada uma das afirmações, assinale a opção que melhor representa seu grau de concordância com tais afirmações. Em seguida, para fins de esclarecimento e posterior análise, discuta sobre o porquê da resposta.

1. Após a explanação sobre o método proposto, houve um entendimento claro sobre o processo de construção do modelo.

Discordo       Discordo       Indiferente       Concordo       Concordo  
totalmente      parcialmente      parcialmente      totalmente

2. A primeira etapa do método (coleta e análise de informações sobre o indivíduo) está de

acordo com o que ocorre no processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

3. É possível traçar um perfil do indivíduo com informações relevantes.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

4. Após a realização da primeira etapa, há informação suficiente para definir a prescrição de exercício.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

5. Nada mais pode ser adicionado nesta primeira etapa para melhorar o método proposto.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

6. Caso a resposta não tenha sido 'Concordo totalmente' na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.

7. A segunda etapa do método (definição das variáveis a serem monitoradas) está de acordo com o processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

8. É importante definir as variáveis (ambientais, comportamentais e/ou fisiológicas) a serem monitoradas e controladas de acordo com cada caso/indivíduo específico.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

9. Nada mais pode ser adicionado nesta segunda etapa para melhorar o método proposto.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

10. Caso a resposta não tenha sido 'Concordo totalmente' na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.

11. A terceira etapa do método (definição dos intervalos de valores para cada variável

escolhida na 2<sup>a</sup> etapa) está de acordo com o processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

12. É importante estabelecer os limites específicos de cada indivíduo para cada variável de acordo com o caso.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

13. Nada mais pode ser adicionado nesta terceira etapa para melhorar o método proposto.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

14. Caso a resposta não tenha sido 'Concordo totalmente' na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.

15. A quarta etapa do método (definição de ações para mudança de estado) está de acordo com o processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

16. O estabelecimento de relações entre ações/eventos e mudanças de estado condiz com a realidade prática e o conhecimento da área.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

17. É relevante classificar os estados (intervalos de valores) de acordo com as características específicas do caso: condicionamento físico do indivíduo, informações ambientais, etc.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

18. Nada mais pode ser adicionado nesta quarta etapa para melhorar o método proposto.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente                  parcialmente                  parcialmente                  totalmente

19. Caso a resposta não tenha sido 'Concordo totalmente' na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.

20. A quinta etapa do método (definição das restrições) está de acordo com o processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

21. A definição de estados aceitos e proibidos é importante para a prática segura de exercícios.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

22. A sequência de ocorrência de eventos é relevante a depender do caso específico a ser tratado.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

23. Nada mais pode ser adicionado nesta quinta etapa para melhorar o método proposto.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

24. Caso a resposta não tenha sido 'Concordo totalmente' na questão anterior, favor descrever brevemente sua sugestão de acréscimo justificando caso julgue necessário.

25. De uma forma geral, o método proposto pode ser usado para a definição da prescrição de exercícios físicos.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

26. De uma forma geral, o método proposto está de acordo com o que ocorre no processo tradicional.

( ) Discordo      ( ) Discordo      ( ) Indiferente      ( ) Concordo      ( ) Concordo  
totalmente      parcialmente           parcialmente      totalmente

27. Por fim, caso julgue necessário, descreva sugestões/críticas que por acaso não tenham se encaixado nos espaços reservados anteriormente.

### **Sobre a simulação**

A seguir são feitas algumas perguntas sobre o processo de simulação realizado.

28. Quantos cenários simulados foram realizados? Resposta: \_\_\_\_\_

Em relação às sugestões emitidas pelo modelo construído:

a) Quantas foram sugestões consideradas corretas? Resposta: \_\_\_\_\_

b) Quantas foram sugestões consideradas incorretas? Resposta: \_\_\_\_\_

29. Caso tenha ocorrido alguma sugestão incorreta, alguma representaria uma situação de risco ao bem estar físico indivíduo?

( ) Sim                    ( ) Não

30. Caso tenha respondido 'sim' na questão anterior, descreva quais situações foram.

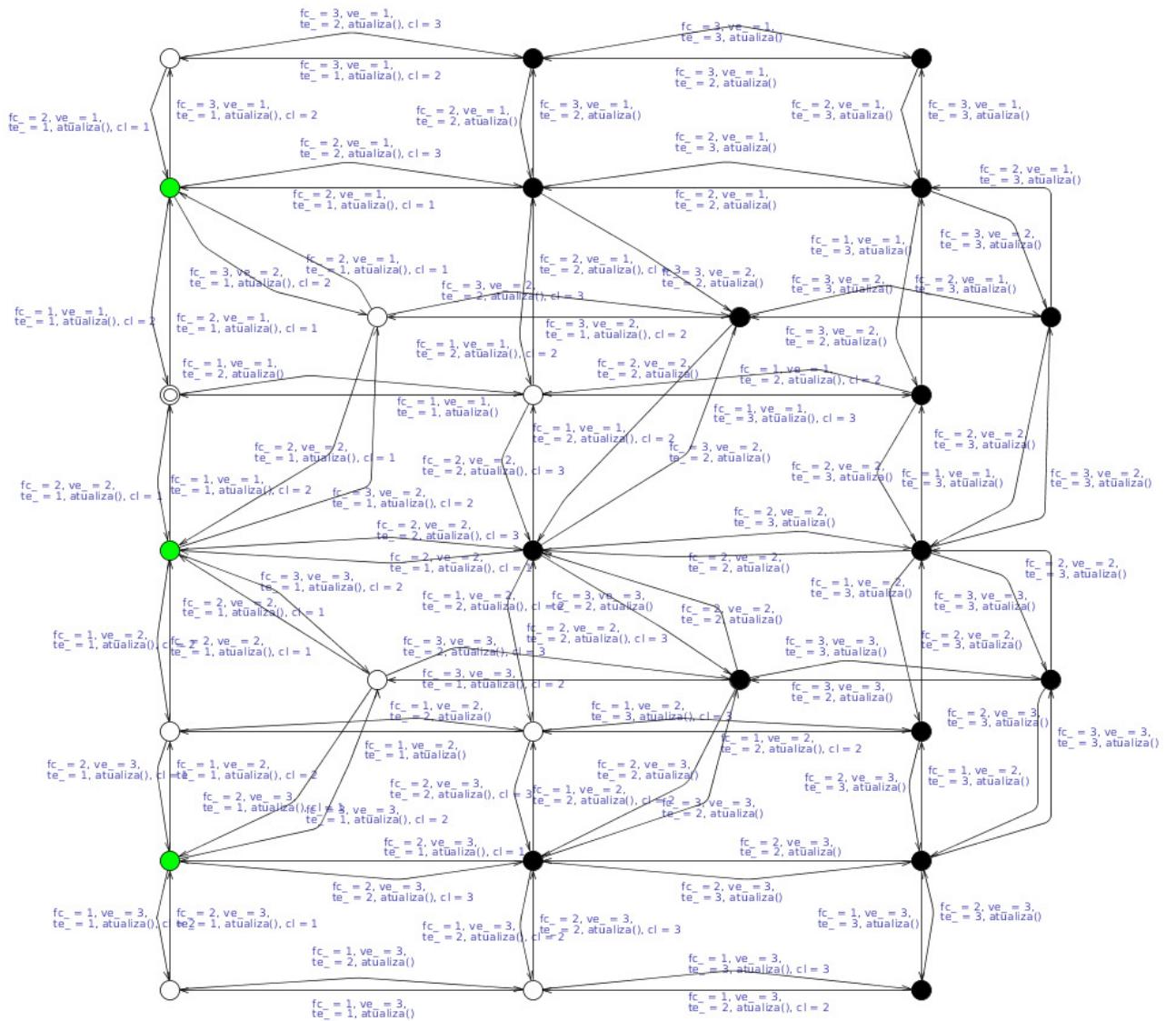
31. De uma forma geral, a partir dos cenários simulados, considera o modelo gerado uma ferramenta capaz de fornecer sugestões úteis para a prática segura de exercícios físicos? Por que?

( ) Sim                    ( ) Não

32. Caso julgue necessário, forneça sugestões/críticas para a melhoria das sugestões fornecidas pelo modelo ao indivíduo nos testes simulados.

# Apêndice B

## Modelo UPPAAL Completo



# Apêndice C

## Ferramentas Desenvolvidas

Neste apêndice são apresentadas as duas ferramentas desenvolvidas para a demonstração de viabilidade técnica do método apresentado nesta tese. A primeira, apresentada na Seção C.1, é uma ferramenta de auxílio ao profissional de saúde para a definição do modelo de referência, como descrito pelo método apresentado no Capítulo 3. A segunda implementação, apresentada na Seção C.2, é uma ferramenta de software a ser instalada no dispositivo móvel do indivíduo. É esta ferramenta que funciona como supervisor do indivíduo durante a prática do exercício físico, garantindo assim a segurança do praticante.

Como supradito, tais ferramentas foram implementadas com o objetivo de demonstrar a viabilidade tecnológica do método apresentado nesta tese, fazendo parte do processo de avaliação deste trabalho.

Ambas as ferramentas possuem licença GNU GPLv3. Todo o código fonte está disponível, podendo ser obtido no repositório <https://github.com/el7hon/SupervisorMD>.

### C.1 Aplicação para o Profissional de Saúde

A ferramenta de auxílio ao profissional de saúde no processo de definição do modelo de referência do indivíduo foi desenvolvida para a plataforma *desktop* utilizando a linguagem de programação Java. O desenvolvimento desta aplicação demonstra, sob uma perspectiva tecnológica, a viabilidade do método apresentado no Capítulo 3.

A ferramenta em questão é composta por algumas telas. Durante a interação com o usuário (profissional da saúde), as telas se apresentam na estrutura hierárquica apresentada a seguir.

▷ Lista de Atributos

- Cadastrar Atributo
- Adicionar/Editar Atributo
  - \* Expressão Regular
- Lista de Estados
  - \* Adicionar/Editar Estado
  - \* Lista de Transição
    - Adicionar/Editar Transição

A tela *Lista de Atributos*, apresentada na Figura C.1, é a tela principal da ferramenta. A partir dela, o usuário tem acesso ao conjunto dos atributos de contexto ( $A_C$ ) já definidos. Além disso, é possível identificar na lista à qual classe de variável ( $F$ ,  $B$  e  $E$ ) os atributos pertencem. Outras duas informações relevantes para cada atributo são a unidade de medida utilizada e a frequência com a qual o atributo deve ser lido pelo seu respectivo sensor.

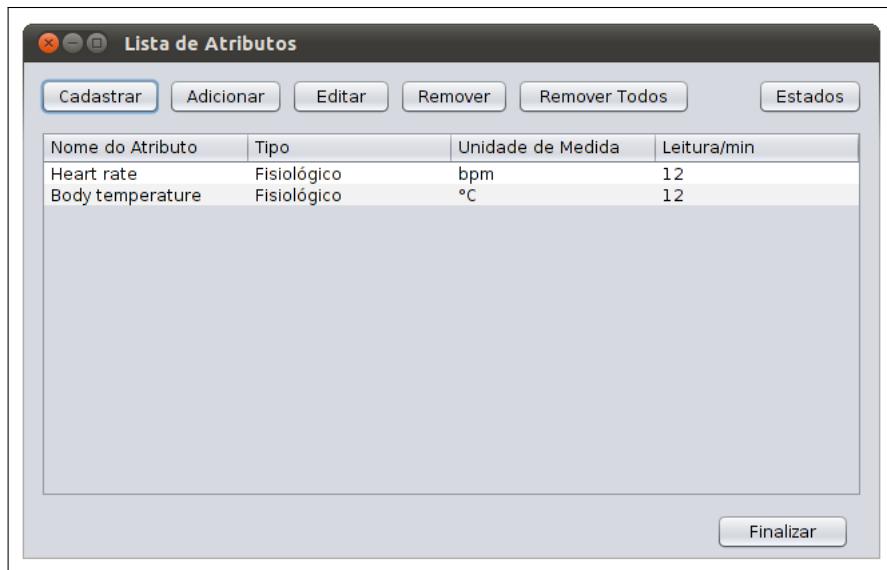


Figura C.1: Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de atributos.

A partir desta tela principal, o usuário pode cadastrar um novo atributo, adicionar um atributo já cadastrado ao conjunto de atributos de interesse, editar um atributo do conjunto de atributos de interesse, remover algum atributo do conjunto ou remover todos os atributos definidos como atributos de interesse.

Ao clicar no botão *Cadastrar*, o usuário é levado à tela *Cadastrar Atributo* (Figura C.2). Nesta tela, são definidos o nome do atributo, a qual classe de variável (ambiental, comportamental ou fisiológica) o atributo pertence, e qual a unidade de medida a ser usada.



Figura C.2: Tela voltada ao cadastro de atributos.

Uma vez que um determinado atributo está cadastrado na ferramenta, o mesmo pode ser selecionado para fazer parte do conjunto  $A_C$ . Na Figura C.3, é apresentada a tela *Adicionar Atributo*. Nesta tela, o usuário apenas indica a variável que deseja adicionar ao conjunto de atributos de interesse e indica com que frequência tal variável deve ser lida durante a prática de exercício. É importante ressaltar que a frequência de leitura de uma determinada variável está relacionada às necessidades específicas de cada indivíduo.



Figura C.3: Tela voltada à adição de variáveis previamente cadastradas e respectiva definição de frequência de leitura.

A partir desta mesma tela é possível definir a especificação (prescrição) ao usuário referente apenas ao atributo em questão. A especificação pode ser definida ao clicar no botão *Expressão Regular*, que conduzirá o usuário à tela homônima (Figura C.4).

Na tela de *Expressão Regular* (a ser desenvolvida), o usuário poderá definir a prescrição para uma dada variável em termos de expressões regulares, que são equivalentes a autômatos

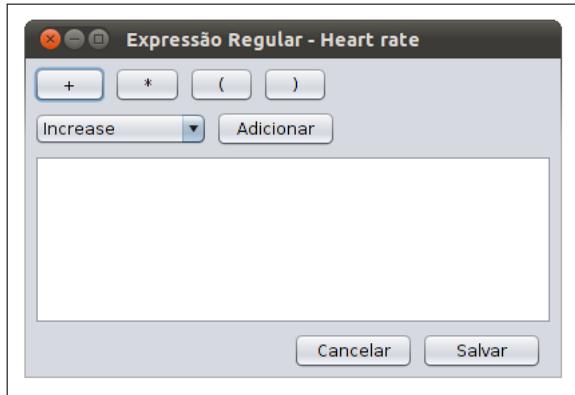


Figura C.4: Tela voltada a criação de especificações usando expressões regulares.

finitos determinísticos. Estas expressões serão traduzidas para a forma de autômatos e, em seguida, será executada a operação de produto síncrono com o modelo geral. Assim, é seguido o algoritmo apresentado na Seção 3.5.

A versão atual da ferramenta possibilita a definição das especificações para cada atributo de forma separada. É pretendido implementar um meio para que a especificação possa ser feita de maneira a considerar todas as variáveis definidas.

Além destas funcionalidades, o usuário pode, para um dado atributo de interesse, manipular seus estados clicando no botão *Estados*. Este botão exibe ao usuário a tela *Lista de Estados*, apresentada na Figura C.5. Esta tela assemelha-se bastante à tela inicial da ferramenta (Figura C.1).

A partir da tela *Lista de Estados*, o usuário tem acesso ao conjunto de estados ( $Q$ ) de um determinado atributo de contexto ( $a_C \in A_C$ ) já definido. Além disso, é possível identificar na lista o intervalo de valores correspondente a cada estado do atributo, bem como a classificação para tais estados. Nesta tela, ainda é possível definir qual o estado inicial ( $q_0$ ) para o indivíduo em relação àquela variável. A partir dos botões *Edita*, *Remover* e *Remover Todos*, o usuário tem acesso às operações análogas às operações dos botões homônimos da tela inicial (Figura C.1).

Ao clicar no botão *Adicionar*, a tela *Adicionar Estado* (Figura C.6) é exibida ao usuário. Nesta tela, em primeiro lugar, o usuário define se o estado representará um domínio de valores inteiros ( $d_{discreto}$ ), reais ( $d_{continuo}$ ) ou enumeráveis simbólicos ( $d_{enumeracao}$ ). Em seguida, o usuário define o nome, os valores que o estado pode assumir e a classificação do estado.



Figura C.5: Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de estados de uma determinada variável.

Caso o domínio seja de números, os limites inferior e superior para o intervalo de valores são preenchidos. Caso o domínio seja enumerável, é preenchido o valor simbólico.

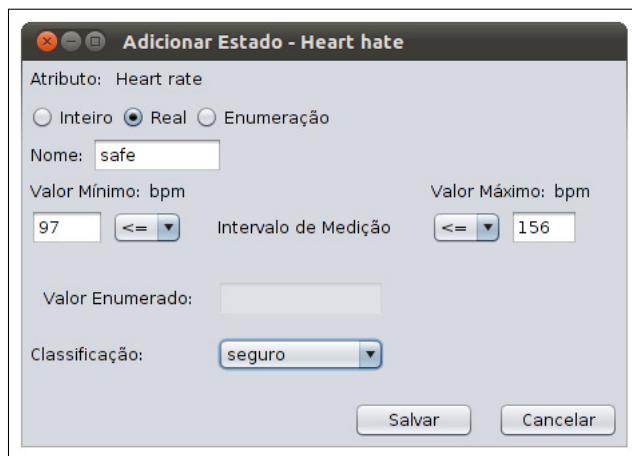
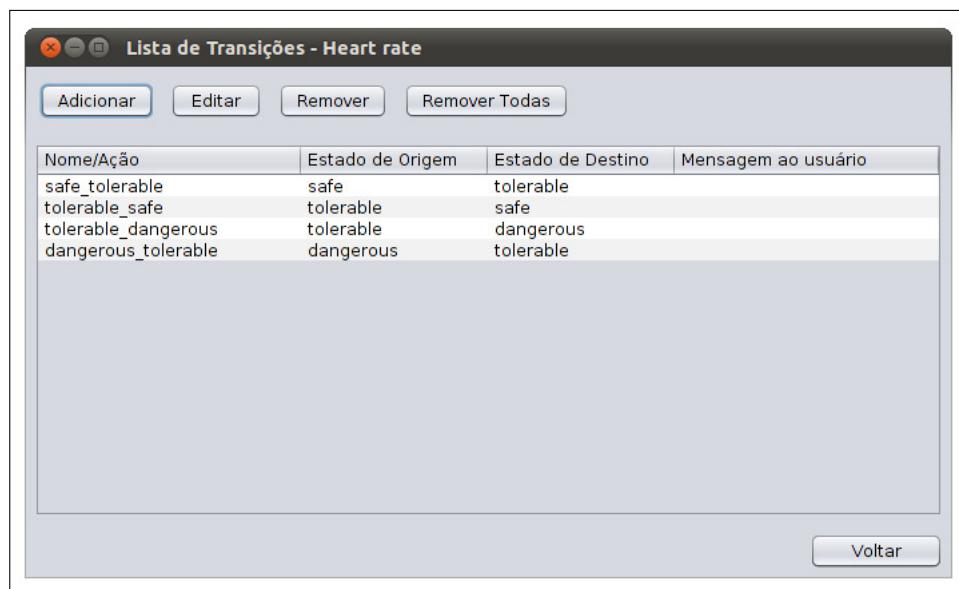


Figura C.6: Tela voltada à criação de estados para uma determinada variável.

Os estados podem ser classificados como *seguro* (*estado marcado, final ou de aceitação*), *tolerável* e *perigoso* (*estado proibido*). Esta classificação serve como alternativa para a definição de especificação feita usando expressões regulares. Um estado deve ser classificado como tolerável se e somente se ele não é marcado, nem proibido.

Ainda em relação à tela *Lista de Estados*, o usuário pode definir as transições ( $\delta$ ) entre os estados clicando no botão *Transições*, que o redirecionará à tela *Lista de Transições*, apresentada na Figura C.7. Também nesta tela, a partir dos botões *Editar*, *Remover* e *Remover Todos*, o usuário tem acesso às operações análogas às operações dos botões homônimos da tela inicial (Figura C.1).



The screenshot shows a window titled "Lista de Transições - Heart rate". At the top, there are four buttons: "Adicionar" (highlighted in blue), "Editar", "Remover", and "Remover Todas". Below the buttons is a table with four columns: "Nome/Ação", "Estado de Origem", "Estado de Destino", and "Mensagem ao usuário". The table contains four rows of data:

Nome/Ação	Estado de Origem	Estado de Destino	Mensagem ao usuário
safe_tolerable	safe	tolerable	
tolerable_safe	tolerable	safe	
tolerable_dangerous	tolerable	dangerous	
dangerous_tolerable	dangerous	tolerable	

At the bottom right of the window is a "Voltar" button.

Figura C.7: Tela voltada à criação/consulta/edição/remoção de transições e de mensagens ao indivíduo.

Ao clicar no botão *Adicionar*, a tela *Adicionar Transição*, apresentada na Figura C.8, é exibida ao usuário. Nesta tela, o usuário define o evento ( $e \in \Sigma$ ) associado à transição em questão e os estados de origem e de destino da transição. Ainda nesta tela, há um campo com o título *Mensagem ao usuário*. Neste espaço, o profissional de saúde deve fornecer informações, em formato livre, que serão repassadas ao usuário quando o modelo de referência indicar a necessidade de executar a transição.

Em outras palavras, o campo *Nome/Ação* diz respeito ao evento que será incorporado ao modelo, enquanto que o campo *Mensagem ao usuário* diz respeito à mensagem exibida ao usuário quando a execução de tal evento for demandada.

Nesta versão da ferramenta não há uma forma de cadastrar eventos e recuperá-los para posterior uso, como é feito com os atributos de interesse. Caso o usuário digite um mesmo nome de evento para transições diferentes, a ferramenta interpreta que se trata do mesmo

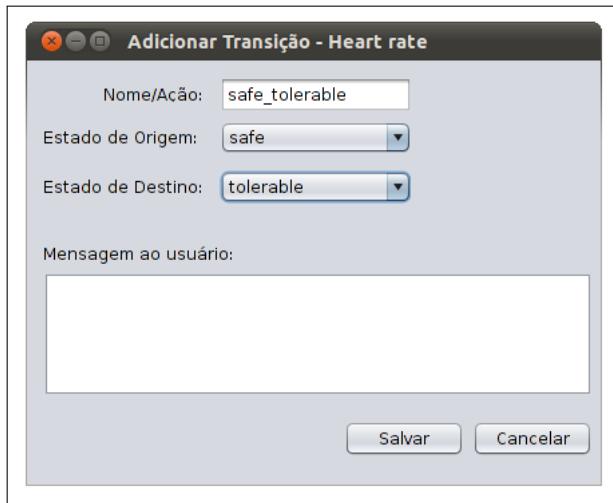


Figura C.8: Tela voltada à definição de transições para uma determinada variável e mensagens ao indivíduo.

evento. Da mesma forma, caso o usuário cometa algum erro de digitação, a ferramenta lidará com os nomes como sendo dois eventos distintos.

Na medida em que cada tarefa é executada na definição do modelo, um arquivo no formato JSON<sup>1</sup> (*JavaScript Object Notation*) é atualizado. Ao final da construção do modelo e especificação, um arquivo na pasta da ferramenta conterá o modelo de referência do indivíduo.

As telas de edição e adição de cada elemento (atributos, estados e transições) são bem semelhantes. Assim, as telas para edição foram omitidas neste documento.

## C.2 Aplicação para o Indivíduo

A ferramenta destinada ao acompanhamento do indivíduo, durante a prática do exercício físico, foi desenvolvida para a plataforma Android (versão 2.3.4) para dispositivos móveis. Esta ferramenta é composta por quatro telas, além da tela principal. Destas, apenas uma não foi desenvolvida devido à falta de dispositivos sensores para a leitura dos dados. A partir da tela principal (Figura C.9), há quatro botões:

- **Start** - inicia a execução de um determinado programa de exercício;

<sup>1</sup><http://www.json.org>

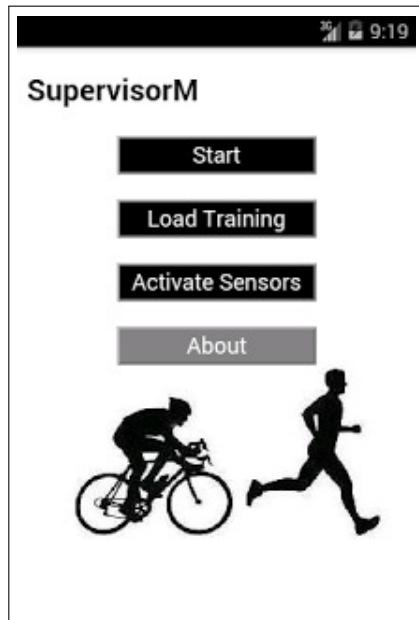


Figura C.9: Tela principal da aplicação móvel voltada ao indivíduo.

- **Load Training** - carrega um programa de exercício desejado para que possa ser posteriormente executado;
- **Activate Sensors** - associa as variáveis a serem monitoradas (presentes no modelo de referência carregado) com os sensores disponíveis<sup>2</sup>; e
- **About** - simplesmente apresenta algumas informações sobre a aplicação.

Num primeiro momento, o usuário deve alimentar a aplicação com o arquivo JSON gerado pela aplicação do profissional de saúde. Para que isso ocorra, o usuário deve pressionar o botão *Load Training*, que o levará a tela responsável por escolher o modelo de referência desejado (Figura C.10).

Neste momento, há duas opções ao usuário. Uma é escolher um modelo de referência dentre três modelos que estão embutidos na ferramenta (Figura C.11). Isto foi feito apenas para fins de teste da mesma. Outra opção é digitar o nome do arquivo recebido do profissional de saúde. Este arquivo deverá conter todo o programa de exercício definido pelo profissional durante a execução do método apresentado no Capítulo 3.

<sup>2</sup>Esta parte da ferramenta não foi desenvolvida por falta de dispositivos no mercado.

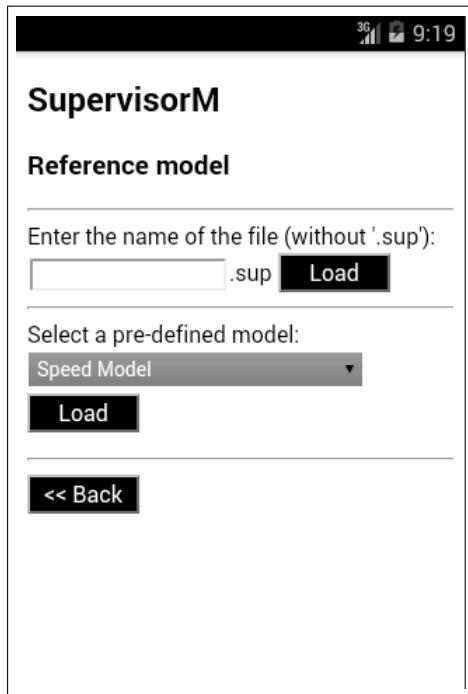


Figura C.10: Tela para seleção do modelo de referência.

Após o carregamento do arquivo com o treinamento do usuário (modelo de referência), a aplicação leva o usuário novamente à tela principal. Assim, o usuário pode iniciar a execução da aplicação pressionando o botão *Start*. Ao pressionar este botão, o usuário é conduzido à tela onde as recomendações são exibidas (Figura C.12).

Esta tela apresenta três partes distintas. A primeira foi desenvolvida para que os valores das variáveis monitoradas pudessem ser inseridos na ferramenta. Primeiramente o usuário deve selecionar uma das variáveis presentes no modelo. Em seguida, deverá digitar o valor correspondente à leitura feita. Por fim, deverá pressionar o botão *Update*, que atualizará o estado do cenário e exibirá alguma recomendação.

Idealmente deveria haver uma conexão entre a ferramenta e os sensores de cada variável. Entretanto, devido a ausência de sensores no mercado, foi necessário recorrer a este artifício para que os experimentos, e consequentemente a avaliação do trabalho, pudessem ser realizados.

A segunda parte da tela contém o estado atual do cenário do indivíduo. Em outras palavras, esta tela apresenta os últimos valores lidos para cada uma das variáveis que estão sendo monitoradas. Esta parte é atualizada sempre que um valor for digitado na primeira

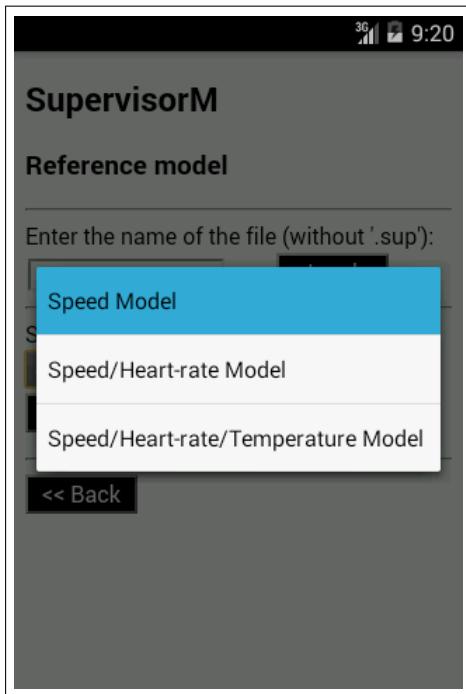


Figura C.11: Tela apresentando os três modelos de referência embutidos na ferramenta.

parte da tela e o botão *Update* for pressionado.

Por fim, a terceira parte da tela exibe as recomendações a serem seguidas pelo indivíduo. Tais recomendações são extraídas do modelo de referência definido pelo profissional de saúde e carregado anteriormente. Caso o conjunto de valores lidos represente um estado seguro ao indivíduo, apenas uma mensagem simples (*Keep going!*) é exibida, conforme ilustrado na Figura C.13.

Esta ferramenta salva automaticamente um arquivo de *log* contendo os históricos de mudanças de estados nos exercícios físicos realizados. Tal arquivo pode servir para alguns propósitos, a saber:

- verificar se o indivíduo seguiu as recomendações definidas, caso não tenha atingido o objetivo definido inicialmente no processo clínico;
- verificar se o modelo de referência realmente foi executado conforme esperado, podendo assim efetuar ajustes para que o modelo possa acompanhar a evolução do indivíduo; e
- rever o perfil do indivíduo ajustando o modelo de referência, caso o modelo tenha se comportado conforme esperado, o indivíduo tenha seguido as recomendações e mesmo

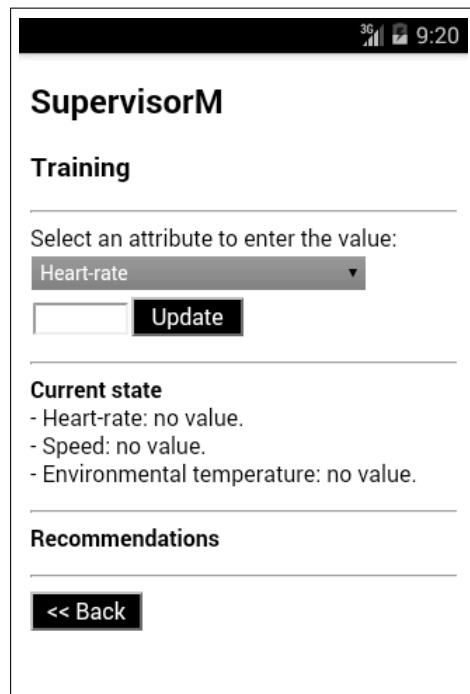


Figura C.12: Tela de exibição das recomendações ao indivíduo.

assim este não tenha obtido evolução em seu quadro clínico.

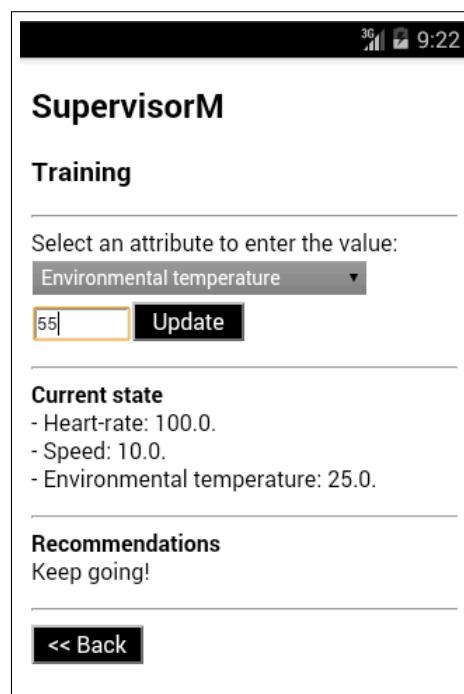


Figura C.13: Mensagem indicando o indivíduo dentro de um estado objetivo: *Keep Going!*.

# Apêndice D

## Termos de Consentimento Livre e Esclarecido

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)

(Em 2 vias, firmado por cada participante-voluntári(o,a) da pesquisa e pelo responsável)

Eu, \_\_\_\_\_, tendo sido convidad(o,a) a participar como voluntári(o,a) do estudo **Testes Em Simulação E Em Campo De Modelos Matemáticos Para Acompanhamento De Indivíduos Na Prática De Exercícios Físicos**, recebi d(o,a) Sr(a). Prof. Me. Elthon Allex da Silva Oliveira, coordenador da pesquisa, professor da UFAL/Campus Arapiraca, responsável por sua execução, as seguintes informações que me fizeram entender sem dificuldades e sem dúvidas os seguintes aspectos:

- Que o estudo se destina a avaliar recomendações durante simulações (voltado ao profissional de Educação Física) e durante a prática de exercícios físicos (voltado ao indivíduo a praticar a atividade).
- Que a importância deste estudo é a de ampliar o alcance dos indivíduos praticantes de exercícios físicos ao conhecimento do profissional de Educação Física.
- Que os resultados que se desejam alcançar são os seguintes: verificar se as recomendações emitidas pelo modelo matemático estão de acordo com as recomendações do profissional de Educação Física.
- Que esse estudo (coleta de dados) começará em 01/12/2014 e terminará em 12/12/2014
- Que o estudo será feito da seguinte maneira: primeiro, eu tomarei conhecimento do que é proposto pelo projeto de pesquisa e em seguida verificarei alguns cenários simulados para verificar se as recomendações geradas pelo modelo matemático seriam as mesmas dadas por mim em um cenário real igual ao que fora simulado. Num segundo momento, acompanharei um teste em esteira ergométrica para comparar as recomendações emitidas pelo modelo num cenário real com as minhas recomendações para o mesmo cenário.
- Que eu participarei das seguintes etapas: descrição da proposta do projeto de pesquisa; construção do modelo matemático; apresentação de testes simulados; acompanhamento de teste em esteira; entrevista sobre o processo realizado.
- Que os incômodos que poderei sentir com a minha participação são os seguintes: sede.
- Que os possíveis riscos à minha saúde física e mental são: nenhum.
- Que deverei contar com a seguinte assistência: transporte e alimentação, sendo responsável(is) por ela: Elthon Allex da Silva Oliveira, coordenador da pesquisa.
- Que os benefícios que deverei esperar com a minha participação, mesmo que não diretamente são: disponibilização de qualquer produto de software que decorra deste processo investigativo, casos seja de meu interesse.

- Que a minha participação será acompanhada do seguinte modo: serei acompanhado pelo pesquisador responsável durante todo o processo realizado.
- Que, sempre que desejar, serão fornecidos esclarecimentos sobre cada uma das etapas do estudo.
- Que, a qualquer momento, eu poderei recusar a continuar participando do estudo e, também, que eu poderei retirar este meu consentimento, sem que isso me traga qualquer penalidade ou prejuízo.
- Que as informações conseguidas através da minha participação não permitirão a identificação da minha pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.
- Que o estudo não acarretará nenhuma despesa para o participante da pesquisa.
- Que eu serei indenizado por qualquer dano que venha a sofrer com a participação na pesquisa, mediante pagamento das despesas.
- Que eu receberei uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Finalmente, tendo eu compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a minha participação no mencionado estudo e estando consciente dos meus direitos, das minhas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a minha participação implicam, concordo em dele participar e para isso eu DOU O MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO EU TENHA SIDO FORÇADO OU OBRIGADO.

**Endereço d(o,a) participante-voluntári(o,a)**

Domicílio: (rua, praça, conjunto):

Bloco: Nº: Complemento:

Bairro: CEP: Cidade:

Telefone:

Ponto de referência:

**Contato de urgência: Sr(a).**

Domicílio: (rua, praça, conjunto):

Bloco: Nº: Complemento:

Bairro: CEP: Cidade:

Telefone:

Ponto de referência:

**Endereço d(os,as) responsáve(l,is) pela pesquisa:**

Instituição: Universidade Federal de Alagoas - UFAL/Campus Arapiraca

Endereço Rodovia AL 115, Km 6,5

Bloco: C. Complemento: sala 5.

Bairro: Bom Sucesso. CEP: 57300-970. Cidade: Arapiraca-AL

Telefones p/contato: (82) 8828-3660

**ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:**

**Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas**

**Prédio da Reitoria, 1º Andar , Campus A. C. Simões, Cidade Universitária**

**Telefone: 3214-1041**

Arapiraca, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014

Assinatura ou impressão datiloscópica d(o,a) voluntári(o,a) ou responsável legal e rubricar as demais folhas	Nome e Assinatura do(s) responsável(eis) pelo estudo (Rubricar as demais páginas)

**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (T.C.L.E.)**

(Em 2 vias, firmado por cada participante-voluntári(o,a) da pesquisa e pelo responsável)

Eu, \_\_\_\_\_, tendo sido convidad(o,a) a participar como voluntári(o,a) do estudo **Testes Em Simulação E Em Campo De Modelos Matemáticos Para Acompanhamento De Indivíduos Na Prática De Exercícios Físicos**, recebi d(o,a) Sr(a). Prof. Me. Elthon Allex da Silva Oliveira, coordenador da pesquisa, professor da UFAL/Campus Arapiraca, responsável por sua execução, as seguintes informações que me fizeram entender sem dificuldades e sem dúvidas os seguintes aspectos:

- Que o estudo se destina a avaliar recomendações durante simulações (voltado ao profissional de Educação Física) e durante a prática de exercícios físicos (voltado ao indivíduo a praticar a atividade).
- Que a importância deste estudo é a de ampliar o alcance dos indivíduos praticantes de exercícios físicos ao conhecimento do profissional de Educação Física.
- Que os resultados que se desejam alcançar são os seguintes: verificar se as recomendações emitidas pelo modelo matemático estão de acordo com as recomendações do profissional de Educação Física.
- Que esse estudo (coleta de dados) começará em 01/12/2014 e terminará em 12/12/2014
- Que o estudo será feito da seguinte maneira: eu serei avaliado por um profissional de Educação Física para que possa ser posto numa corrida em esteira ergométrica. A corrida durará 30 minutos, ou até eu sentir algum desconforto. Durante a corrida eu terei minha frequência cardíaca e temperatura corporal monitoradas. O coordenador da pesquisa falará algumas recomendações durante minha corrida e um profissional de Educação Física concordará com ou discordará da recomendação. Desta forma, terei sempre um profissional capacitado ao meu lado para evitar quaisquer problemas.
- Que eu participarei das seguintes etapas: anamnese junto ao profissional de saúde; corrida em esteira ergométrica; entrevista sobre o processo realizado.
- Que os incômodos que poderei sentir com a minha participação são os seguintes: cansaço, incômodo nas pernas, joelhos ou pés.
- Que os possíveis riscos à minha saúde física e mental são: dor nos membros inferiores.
- Que deverei contar com a seguinte assistência: profissional de Educação Física ao lado durante o processo, transporte, hidratação e alimentação, sendo responsável(is) por ela: Elthon Allex da Silva Oliveira, coordenador da pesquisa.
- Que os benefícios que deverei esperar com a minha participação, mesmo que não diretamente são: disponibilização de qualquer produto de software que decorra deste processo investigativo, casos seja de meu interesse.
- Que a minha participação será acompanhada do seguinte modo: serei acompanhado pelo pesquisador responsável durante todo o processo realizado, bem como por um profissional de Educação Física.
- Que, sempre que desejar, serão fornecidos esclarecimentos sobre cada uma das etapas do estudo.
- Que, a qualquer momento, eu poderei recusar a continuar participando do estudo e, também, que eu poderei retirar este meu consentimento, sem que isso me traga qualquer penalidade ou prejuízo.
- Que as informações conseguidas através da minha participação não permitirão a identificação da minha pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.
- Que o estudo não acarretará nenhuma despesa para o participante da pesquisa.
- Que eu serei indenizado por qualquer dano que venha a sofrer com a participação na pesquisa, mediante pagamento das despesas.
- Que eu receberei uma via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Finalmente, tendo eu compreendido perfeitamente tudo o que me foi informado sobre a minha participação no mencionado estudo e estando consciente dos meus direitos, das minhas responsabilidades, dos riscos e dos benefícios que a minha participação implicam, concordo em dele participar e para isso eu DOU O MEU CONSENTIMENTO SEM QUE PARA ISSO EU TENHA SIDO FORÇADO OU OBRIGADO.

**Endereço d(o,a) participante-voluntári(o,a)**

Domicílio: (rua, praça, conjunto):

Bloco: Nº: Complemento:

Bairro: CEP:

Cidade:

Telefone:

Ponto de referência:

**Contato de urgência: Sr(a).**

Domicílio: (rua, praça, conjunto):

Bloco: Nº: Complemento:

Bairro: CEP:

Cidade:

Telefone:

Ponto de referência:

**Endereço d(os,as) responsável(l,is) pela pesquisa:**

Instituição: Universidade Federal de Alagoas - UFAL/Campus Arapiraca

Endereço Rodovia AL 115, Km 6,5

Bloco: C. Complemento: sala 5.

Bairro: Bom Sucesso. CEP: 57300-970. Cidade: Arapiraca-AL

Telefones p/contato: (82) 8828-3660

**ATENÇÃO: Para informar ocorrências irregulares ou danosas durante a sua participação no estudo, dirija-se ao:**

**Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas  
Prédio da Reitoria, 1º Andar , Campus A. C. Simões, Cidade Universitária  
Telefone: 3214-1041**

Arapiraca, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2014

Assinatura ou impressão datiloscópica d(o,a) voluntári(o,a) ou responsável legal e rubricar as demais folhas	Nome e Assinatura do(s) responsável(eis) pelo estudo (Rubricar as demais páginas)