

## VALIDADE DE SOFTWARE PARA MEDIÇÃO DO TEMPO DE REAÇÃO TOTAL COM ESTÍMULO SIMPLES – TRT\_S<sub>2012</sub>

### VALIDITY OF SOFTWARE FOR MEASUREMENT OF TOTAL REACTION TIME WITH SIMPLE STIMULUS -TRT\_S<sub>2012</sub>

Tânia Brusque Crocetta<sup>1,2</sup>, Ricardo Luís Viana<sup>2,3</sup>, Douglas Eric Silva<sup>2,3</sup>,  
Carlos Bandeira de Mello Monteiro<sup>1,4</sup>, Claudia Arab<sup>1,2</sup>, Alexandro Andrade<sup>2,5</sup>

DOI: dx.doi.org/10.7322/jhdg.88963

#### RESUMO

**Objetivo:** Determinar a validade do *software* TRT\_S<sub>2012</sub> na avaliação do tempo de reação total (TRT) simples visual (TRTSimples) e na fadiga mental a partir do TRT (TRTFadiga). **Métodos:** Aplicou-se três validações: a) concorrente, para determinar a correlação entre os *Softwares* TRT\_S<sub>2012</sub> e *Vienna Test System* (VTS); b) de conteúdo, com uma amostra de adultos; e c) mecânica, usando um robô que executa um movimento mecânico respondendo a um estímulo luminoso. Participaram do estudo 216 adultos jovens, estudantes universitários com idades entre 17 e 45 anos ( $x = 24,0 + 6,0$ ) e um robô. Utilizou-se estatística descritiva e inferencial para o desempenho no TRT obtido pelos adultos jovens e pelo robô nos dois *softwares*. **Resultados:** O coeficiente de correlação intraclasses do TRT dos adultos jovens apresentou forte correlação entre TRTSimples e o VTS ( $R=0,72$ ). Para o TRTFadiga, a correlação foi intermediária ( $R=0,56$ ) para identificação do estímulo inicial e baixa ( $R=0,35$ ) para o final, quando comparado ao VTS. Os tempos obtidos para o robô apresentaram desvio padrão semelhantes, variando 0,5ms (em média) entre o maior e o menor. O erro padrão da média variou de 0,23 a 0,28 indicando boa precisão para todas as medidas. As distribuições foram homogêneas variando de 8,2 a 9,7%. **Conclusão:** Os resultados obtidos confirmaram a validade do *Software* TRT\_S<sub>2012</sub>, sendo um teste cognitivo fidedigno, podendo ser aplicado em adultos jovens, para medição do TRT simples com estímulo visual e para avaliação da influência da fadiga mental a partir do TRT, porém os atrasos causados pelo recurso computacional utilizado devem ser considerados e medidos com um recurso como o robô. Conclui-se que o *software* TRT\_S<sub>2012</sub> é válido para avaliar o TRT e a fadiga cognitiva em adultos saudáveis.

**Palavras-chave:** tempo de reação, fadiga mental, software.

#### INTRODUÇÃO

O diagnóstico, tratamento e prevenção de doenças, lesões e outros problemas físicos e mentais em seres humanos são convencionalmente considerados como cuidados com a saúde e o termo pode ser estendido muito além deste conceito<sup>1</sup> e o uso de medidas simples de cuidados com a saúde e reabilitação tem grande valor e interesse para os pesquisadores.

O tempo de reação simples é uma medida da rapidez com que uma pessoa executa uma resposta uniforme a um estímulo específico, sendo de relevância clínica em relação à função e à saúde<sup>2</sup>.

O registro do tempo de reação (TR) proporciona uma investigação mais refinada do funcionamento neuropsicológico do que a simples mensuração do número de respostas corretas e erradas, mostrando-se uma variável altamente sensível<sup>3</sup>.

O TR é provavelmente, a medida comportamental mais usada em unidades de tempo (geralmente em milissegundos), e tem desempenhado um papel importante na pesquisa em psicologia e áreas afins<sup>4</sup>. As principais áreas de aplicação para os estudos com TR são psicologia clínica e da saúde, psicologia pessoal, psicologia do esporte e psicologia educacional<sup>5</sup>.

Considerando a importância do uso de testes com tarefas de TR, Crocetta *et al.*<sup>6</sup> apresentaram o *Software* TRT\_S<sub>2012</sub>, propondo seu uso em qualquer configuração de computador, com o teclado para registro da resposta ao estímulo. Um dos testes proposto pelo *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> mede o tempo de reação total (TRT) simples visual e sua consistência interna foi medida através do alfa de Cronbach obtendo .84. Outro teste proposto pelo *software* avalia a fadiga mental a partir do TRT que apresentou consistência interna com alfa de Cronbach de .62 para a identi-

1 Laboratório de Delineamento de Estudos e Escrita Científica, Departamento de Saúde da Coletividade, Faculdade de Medicina do ABC.

2 Laboratório de Psicologia do Esporte e do Exercício, Centro de Ciências da Saúde e do Esporte, Universidade do Estado de Santa Catarina.

3 Especialistas em programação Java.

4 Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo.

5 Programa de Pós-graduação Strictu Sensu em Ciências do Movimento Humano.

**Corresponding author:** tania.crocetta@udesc.br

Suggested citation: Crocetta TB, et al. Validity of software for measurement of total reaction time with simple stimulus - trt\_s2012. 24(3): 295-303

Manuscript submitted Jun 05 2014, accepted for publication Oct 28 2014.

ficação do estímulo inicial e .87 para a identificação do final do estímulo.

Trabalhar em tarefas que exigem grande esforço cognitivo por um tempo considerável, muitas vezes leva à fadiga mental que pode afetar o desempenho na execução da tarefa. É importante prevenir ou tratar os erros relacionados com a fadiga mental e compreender a sua natureza e os seus efeitos específicos sobre o comportamento<sup>7</sup>. A validação do teste de avaliação da fadiga mental, proposto pelo *Software TRT\_S<sub>2012</sub>*, pode beneficiar diversas áreas de pesquisa.

Construindo um robô similar ao proposto por Neath *et al.*<sup>8</sup>, Crocetta *et al.*<sup>9</sup> validaram as medidas obtidas pelo robô denominado *Emboici Robot* com 46,95ms ( $DP=6,04$ ) em 1200 medidas de TRT. A proposta deste robô foi de reagir pressionando um botão quando um estímulo luminoso fosse identificado por um fotodiodo. O *Emboici Robot* pode ser utilizado para avaliar a precisão da medida de tempo em um teste de TRT.

Neste estudo assume-se que o tempo de reação total (TRT) envolve a identificação do estímulo, a interpretação e preparação da resposta e a efetiva ação motora<sup>10, 11</sup>. O processo de validação não se exaure, ao contrário, pressupõe continuidade e deve ser repetido inúmeras vezes para o mesmo instrumento<sup>12</sup>, e como acontece com qualquer nova ferramenta, é importante comparar diretamente os resultados com testes neuropsicológicos existentes e já utilizados auxiliando na compreensão das propriedades dos novos testes e a sua comparabilidade com testes convencionais<sup>13</sup>.

Assim, o objetivo deste estudo foi validar o *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* para avaliação do tempo de reação total (TRT) com estímulo simples visual e da fadiga mental a partir do TRT.

## MÉTODO

A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (parecer 63411/2012 e 102178).

### Participantes

Participaram voluntariamente do estudo 216 adultos jovens, estudantes universitários de graduação e pós-graduação, com idade entre 17 e 45 anos, média de 24,0 ( $DP=6,0$ ), sendo 99 homens (45,8%) com média de idade de 25,5 anos ( $DP=7,0$ ) e 117 mulheres (54,2%) com média de idade de 22,7 anos ( $DP=4,7$ ) anos. Estes voluntários foram recrutados por e-mail enviado aos alunos de um campus universitário em Florianópolis - SC, Brasil. Todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Participou também do estudo um robô denominado *Emboici Robot* (Figura 1), por meio do seu desempenho no TRT dos *softwares TRT\_S<sub>2012</sub>* e *Vienna Test System (VTS)*.

### Instrumentos

Cada participante completou os seguintes testes: 1) Tempo de Reação Total (TRT) simples com estímulo visual (TRTSimples), 2) avaliação da influência da fadiga mental a partir do TRT

(TRTFadiga) – estes dois testes propostos pelo *Software TRT\_S<sub>2012</sub>*, e 3) o Teste de Reação Simples com estímulo amarelo do *Vienna Test System (VTS)*.

**Software TRT\_S<sub>2012</sub>.** O *software* foi construído e validado por Crocetta *et al.*<sup>6</sup> numa amostra de 76 adultos saudáveis. O *Software* (Figura 1a) propõe os testes: TRTSimples e TRTFadiga.

O teste de TRTSimples consiste no aparecimento de um quadrado amarelo (parametrizável) no centro do monitor em intervalos de tempo previamente definidos (variando de 1,5 a 6,5 ms – estes intervalos foram idênticos nos dois *softwares*) e, quando do estímulo, o participante deveria reagir o mais rapidamente possível, pressionando a barra de espaço do teclado do computador.

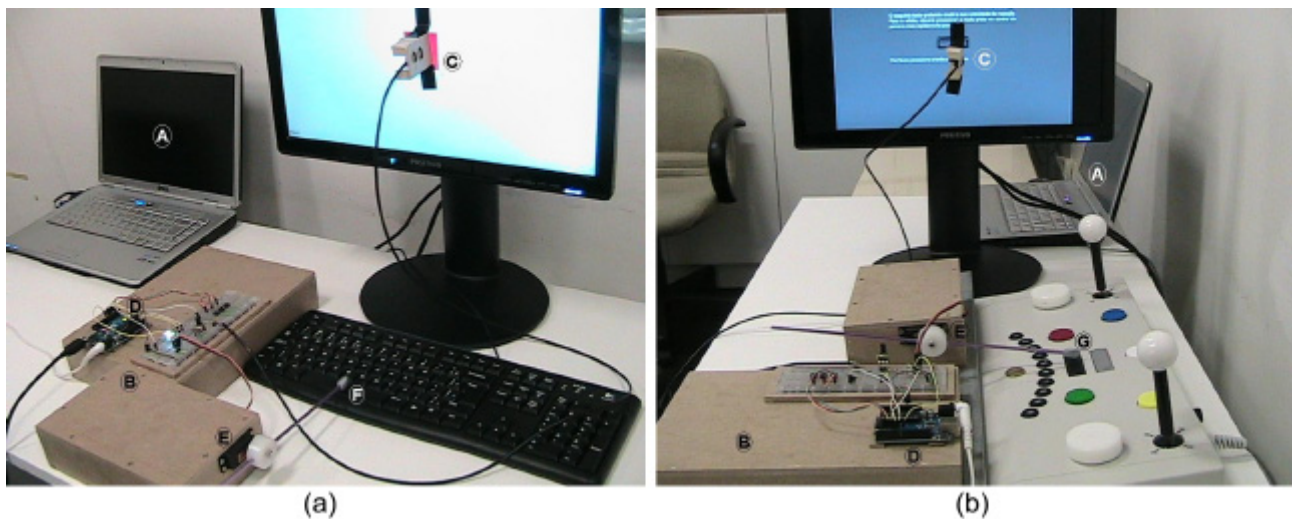
O teste TRTFadiga consistiu do acompanhamento, na tela do computador, do deslocamento de uma barra na cor amarela da esquerda para direita, onde o participante deveria reagir o mais rapidamente possível pressionando a barra de espaço do teclado quando do aparecimento da cor (parametrizável) e manter a tecla pressionada acompanhando o deslocamento da barra de estímulo amarelo até que ela desaparecesse, quando então a barra de espaço deveria ser liberada. Foram identificados dois TRTs: o TRTiFadiga para o pressionamento da barra de espaço e o TRTfFadiga quando da liberação.

O *software* foi parametrizado com cinco execuções para familiarização, 28 execuções para o TRTSimples (mesmo número de execuções proposto pelo VTS) e 14 execuções para o TRTFadiga.

**Vienna Test System (VTS).** O VTS é composto por uma bateria de testes psicométricos (Figura 1b) sendo que o teste de TRT simples visual (S9 Reação Simples Amarelo) apresentou confiabilidade com alfa de Cronbach = 0,961<sup>14</sup> e registra o tempo de reação em milissegundos (ms). O participante deveria reagir “o mais rápido e precisamente possível” ao estímulo visual (aparecimento de um círculo amarelo no centro do monitor) pressionando um botão preto no painel de resposta que acompanha o VTS<sup>5</sup>. O VTS é composto de cinco execuções de familiarização e 28 execuções para compor a bateria de execução do TRT (estes números não podem ser alterados).

### Equipamentos

**Robô Emboici Robot.** Construído e validado por Crocetta *et al.*<sup>9</sup>, este robô é composto por um fotodiodo que detecta a alteração da luminosidade no monitor (cor do estímulo gerado pelos *softwares*) acionando um servo motor que pressiona um botão (a barra de espaço do teclado do computador ou o botão do painel de resposta). Este conjunto é gerenciado por uma placa Arduino (Figura 1 - D). Estes autores reportaram que o TRT obtido pelo *Emboici Robot* (tempo decorrido entre a identificação do estímulo e o pressionamento de um botão) foi de 46,95ms ( $DP=6,04$ ) após análise de 1200 medidas. Este tempo de execução do *Emboici Robot* foi o valor de referência para comparação com o tempo registrado no *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e no VTS.



**Figura 1**

Instrumentos e equipamentos utilizados neste estudo. Em (a) o robô *Emboici Robot* executando o teste de tempo de reação total simples visual do *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e em (b) o robô *Emboici Robot* executando o teste de tempo de reação simples do *Vienna Test System (VTS)*. A = *Notebook*; B = *Emboici Robot* composto de um sensor de luminosidade preso ao monitor (C), uma placa Arduino (D) e um servo motor de passo (E) para pressionamento do botão do teclado (F) ou do painel de resposta do VTS (G).

O *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* foi parametrizado para gerar 99 execuções para o teste de TRTSimples, que consiste no preenchimento de um quadrado no centro do monitor com a cor vermelha no "dia1", e com a cor amarela nos "dia2" e "dia3". Estas execuções foram repetidas 13 vezes no "dia1", 11 vezes no "dia2" e 12 vezes no "dia3", gerando 1287, 1089, 1188 medidas para cada dia, respectivamente. O VTS não permite alteração no número de 28 execuções em cada teste, assim, o teste foi repetido 27 vezes, gerando 756 medidas. As medidas foram gravadas pelos *softwares TRT\_S<sub>2012</sub>* e VTS e exportadas para o *software estatístico IBM® SPSS® 20.0* para as análises descritas a seguir.

**Computador.** Todos os testes foram realizados num *notebook* Dell com processador Intel® Core™2 Duo T5800 de 2.00 GHz (*clock* externo de 200 MHz), com 2 Gb de RAM, sistema operacional Windows 7 *Enterprise Professional* de 32 Bits, *Service Pack 1*. O equipamento foi formatado e instalado o Windows a partir do CD em sua forma mais básica, sem qualquer configuração adicional ou atualização, para reduzir a influência de outros *softwares* sendo executados no sistema operacional.

A máquina virtual Java (JVM) necessária para a execução do *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* foi a versão 7 e atualização 21 (build 1.7.0\_21-b11).

Os estímulos foram gerados no monitor LCD de 19 polegadas, com resolução de 1440 x 900 pixels, com taxa de atualização de 60 Hz (adaptador gráfico Mobile Intel® 965 Express Chipset Family 384 Mb). Processador gráfico Intel GL960/GM965 chipset – Graphics controller 0 (velocidade da GPU 500 MHz). A taxa de preenchimento de pixel 4000 Mpixel/s descreve quantos pixels a placa pode processar em um segundo, o que determina quão rápido a imagem pode ser composta<sup>15</sup>. O monitor foi conectado à saída VGA do *notebook* e a projeção foi ativada apenas neste monitor.

A resposta ao estímulo foi registrada pelo teclado USB Logitech K120 (atraso de repetição 1, frequência de repetição 31) quando o teste foi aplicado no *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e o painel de resposta quando aplicado no VTS.

## Procedimentos

### Na coleta do TRT com adultos jovens.

Todos os testes foram realizados em uma sala reservada com a presença apenas do participante e um pesquisador e aplicados em uma única sessão. A sequência de execução dos testes foi intercalada entre os participantes, sendo anotada a sequência para cada participante com as siglas T para TRTSimples, F para TRTFadiga e V para o VTS, existindo, portanto, as sequências TFV, FTV, VTF e VFT.

### Na coleta do TRT com o robô *Emboici Robot*.

Todos os testes foram realizados em uma sala reservada e todas as execuções do *Emboici Robot* foram gravadas em vídeo. No "dia1" foi primeiro coletado o TRT no *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e em seguida no VTS. Nos "dia2" e "dia3" o TRT foi coletado apenas no TRT\_S<sub>2012</sub>. O fotodiodo foi preso no monitor do computador com fita adesiva na posição onde ocorria a alteração do estímulo (círculo amarelo para o VTS e quadrado vermelho/amarelo para o *Software TRT\_S<sub>2012</sub>*) (Figura 1a-C e 1b-C).

O braço do *Emboici Robot* foi posicionado no meio da barra de espaço do teclado para as coletas no *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e no meio da tecla preta do painel de resposta no VTS, para o perfeito pressionamento (Figura 1a-F e 1b-G). Após a calibração da cor e posição do pressionamento, o *Emboici Robot* fazia um retorno de três graus e ficava aguardando a alteração do estímulo. Quando a cor parametrizada era mostrada no monitor, o braço fazia um movimento de três graus, causando o pressionamento. O tempo entre o envio do estímulo e o pressionamento da barra de espaço/botão foi armazenado pelos respectivos

*softwares* e formaram as medidas de TRT. Foram realizadas medidas com o TRT\_S<sub>2012</sub> em três dias diferentes, com 1287, 1089 e 1188, totalizando 3564 execuções e 756 execuções para o VTS em apenas um dia.

### Tratamento dos dados

**TRTs dos adultos jovens.** Para avaliar a validade concorrente foram comparados os escores do mesmo participante nos testes do *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> e VTS.

As medidas de TRT (milissegundos) e de precisão (percentual de respostas corretas) foram geradas para cada um dos testes.

Valores de desempenho no TRT acima de 1.000ms foram considerados extremos e abaixo de 100ms foram considerados antecipações. Ambos foram excluídos das análises e representaram 0,2% do total de 18.144 medidas de TRT; considerando que um método de filtragem e eliminação de valores discrepantes é muito conservador se rejeitar menos de 5% dos casos<sup>4, 16</sup>. Os TRTs foram examinados para identificar a normalidade. Os desempenhos no TRT para todos os testes foram distribuídos normalmente e os coeficientes de correlação intra-classe (ICC) foram calculados utilizando o programa IBM®SPSS® versão 20.0.

As medidas de TRT e precisão foram calculadas para cada teste individualmente. Estes valores foram então transformados em uma métrica comum calculando um índice z para cada indivíduo, em todos os testes com a equação:

$$\left( \frac{\text{Desempenho Individual} - \text{Média Desempenho Grupo}}{\text{Desvio Padrão Médio}} \right)$$

**Tabela 1:** Dados médios das medidas de desempenho no tempo de reação total (TRT) obtidos pelos 216 adultos jovens no *Software* TRT\_S2012 e *Vienna Test System*

	Média (DP)	Min	Máx	DP 95%	$\alpha$
TRTSimples					
Desempenho (ms)	286,5 (30,0)	227,6	452,9	282,5-290,6	0,93
Precisão (%)	98,7 (2,4)	85,7	100,0	98,3-99,0	-
TRTiFadiga					
Desempenho (ms)	367,5 (34,8)	299,4	479,3	362,8-372,1	0,83
Precisão (%)	93,0 (8,1)	64,3	100,0	91,9-94,0	-
TRTfFadiga					
Desempenho (ms)	385,5 (38,6)	291,8	531,0	380,3-390,7	0,74
Precisão (%)	96,1 (11,8)	42,9	100,0	84,5-87,7	-
TRTVienna					
Desempenho (ms)	237,5 (28,0)	177,1	350,5	233,7-241,2	0,94
Precisão (%)	99,8 (1,3)	85,7	100,0	99,7-100,0	-

*Nota.* DP = Desvio padrão; Min = Mínimo; Max = Máximo; IC = Intervalo de confiança;  $\alpha$  = Alfa de Cronbach; TRTSimples = Tempo de reação total (TRT) simples com estímulo visual; ms = Milissegundos; TRTiFadiga = TRT para identificação do estímulo inicial da avaliação da influência da fadiga mental a partir do TRT; TRTfFadiga = TRT para identificação do estímulo final da avaliação da influência da fadiga mental a partir do TRT; TRTVienna = Tempo de reação obtido no *Vienna Test System*.

As médias do TRT foram mais rápidas nos testes com estímulo simples visual (TRTSimples e TRTVienna) e mais lentas no teste de avaliação da influência da fadiga mental a partir do TRT (TRTiFadiga e TRTfFadiga). Os adultos jovens apresentaram um desempenho melhor no teste proposto pelo VTS. O alfa de Cronbach para os TRTs acima de 0,74 indicam a confiabilidade das medidas obtidas.

As medidas de precisão de todos os testes foram apresentadas em porcentagens e não apresentaram distribuição normal. Para tornar estes dados normais, foi realizada a transformação *arcsine-square*.

O ICC foi calculado entre a medida do TRTSimples e o VTS e entre cada medida do TRTfadiga e o VTS. Os valores do ICC foram interpretados como quando próximos a 1 indicando maior acordo entre as medidas do *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> e o VTS.

Foram calculadas as estatísticas descritivas (médias e desvios-padrão, valores mínimos e máximos e os intervalos de confiança de 95%) para os TRTs e precisão. Para os TRTs foram também calculados o alfa de Cronbach.

**TRTs com o robô *Emboici Robot*.** A validade mecânica e funcional foi avaliada através das análises descritivas dos TRTs obtidos pelo robô nos dois *softwares*. Foram utilizadas 756 medidas de TRT com o VTS e 3.564 com o TRT\_S<sub>2012</sub>, totalizando 4.320 medidas de TRT. Foram invalidadas três medidas de TRT no VTS (não foram registradas pelo *software*), representando 0,4% das 756 medidas obtidas.

## RESULTADOS

As estatísticas descritivas do desempenho no TRT dos adultos jovens nos testes propostos pelos *softwares* TRT\_S<sub>2012</sub> e *Vienna Test System* (VTS) estão descritas na Tabela 1.

O desempenho no TRTSimples mostrou alta correlação positiva com o TRTVienna ( $R = 0,72$ ). O desempenho no TRTiFadiga mostrou correlação intermediária ( $R=0,56$ ) e o desempenho no TRTfFadiga baixa correlação com o TRTVienna ( $R = 0,35$ ). A precisão no desempenho do *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> não apresentou correlação com o VTS (Tabela 2).



**Tabela 2:** Coeficiente de correlação intra-classe (ICC) e intervalos de confiança (IC) entre as medidas do *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* e *Vienna Test System*

	<b>Medidas do Software TRT_S<sub>2012</sub></b>								
	<b>TRTSimples</b>			<b>TRTiFadiga</b>			<b>TRTfFadiga</b>		
	95% IC			95% IC			95% IC		
TRTVienna	ICC	Inf.	Sup.	ICC	Inf.	Sup.	ICC	Inf.	Sup.
Desempenho (ms)	0,72	0,65	0,78	0,56	0,46	0,65	0,35	0,22	0,46
Precisão (%)	-0,005	-0,14	0,13	-0,032	-0,16	0,10	0,000	-0,13	0,13

Nota. As correlações intra-classe são valores entre 0 e 1, onde o maior valor indica maior correlação entre os testes.

O desempenho com o robô *Emboici Robot* no teste de TRT simples visual nos softwares TRT\_S<sub>2012</sub>

e VTS com as estatísticas descritivas são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3:** Medidas de tendência central, faixa e desvio padrão para tempos de reação total (em milissegundos) medidos em dois tipos de software (TRT\_S<sub>2012</sub> e *Vienna Test System*) obtidos pelo robô *Emboici Robot*

<b>Software:</b>	<b>Software TRT_S<sub>2012</sub></b>			<b>Vienna Test System</b>
Cor do estímulo:	Vermelho	Amarelo		Amarelo
Dia da medição:	Dia 1	Day 2	Day 3	Day 1
Execuções (n)	1.287	1.089	1.188	756
Media	83,7	97,0	97,3	86,5
Desvio Padrão	8,1	8,0	8,1	7,6
Mediana	83	97	97	86
Modo (frequência - %)	83 (80-6,2)	99 (59-5,4)	97 (60-5,1)	84 (41-5,4)
Variância	64,8	64,2	66,0	58,4
Coefficiente de variação (%)	9,7	8,2	8,3	8,8
Assimetria	0,022	-0,009	0,012	0,016
Amplitude	45	44	46	45
Mínimo (frequência)	59 (1)	76 (1)	74 (1)	66 (1)
Máximo (frequência)	104 (1)	120 (1)	120 (1)	111 (1)
1º Quartil	78	91	91,75	81
2º Quartil	83	97	97	86
3º Quartil	90	103	103	92

Verificou-se grande diferença no desempenho com o *Emboici Robot* nos softwares TRT\_S<sub>2012</sub> e VTS quando comparados a seu desempenho (média de execução de 46,95ms e DP=6,04 em 1.200 medidas de TRT) reportada por Crocetta *et al.*<sup>9</sup>. Além disso, o TRT registrado pelo Software TRT\_S<sub>2012</sub> foi superior ao registrado pelo VTS apenas quando a cor do estímulo foi amarelo. Os desvios padrão em todas as medidas foram muito próximos variando 0,5 entre o maior e o menor. O erro padrão da média variou de 0,23 a 0,28 indicando boa precisão para todas as medidas. As distribuições foram homogêneas variando de 8,2 a 9,7%.

Para verificar se houve diferenças entre os TRTs medidos pelos dois softwares, aplicou-se o teste de *Mann-Whitney* onde foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os softwares VTS e TRT\_S<sub>2012</sub> com  $p=0,000$  para o estímulo vermelho ( $Z=-7,54$ ) ou amarelo ( $Z=-23,42$  e  $Z=-24,33$  para os Dia2 e Dia3, respectivamente). O mesmo ocorreu ao se aplicar o teste de *Kolmogorov-Smirnov* para o Software TRT\_S<sub>2012</sub> e o VTS (Tabela 4). Estes mesmos testes foram aplicados para verificar se estas diferenças também são observadas nas medidas do TRT considerando apenas o Software TRT\_S<sub>2012</sub> nos três dias diferen-

tes, onde observou-se que a distribuição do TRTs é a mesma somente quando o teste é aplicado com a mesma cor de estímulo amarelo (Dia 2 e Dia 3).

Considerando que a média, mediana e moda foram aproximadamente iguais e que a assimetria apresentou um valor entre -1 e 1 pode-se assumir que a distribuição foi muito próxima da normal<sup>17</sup> e considerando também a robustez dos testes estatísticos que permitiu ignorar a não normalidade dos TRTs, foram aplicados os testes paramétricos apresentados na Tabela 5.

Comparando os resultados das avaliações apresentados na Tabela 5, rejeita-se a hipótese nula de igualdade entre as medidas dos dois softwares, ou seja, o desempenho do robô no Software TRT\_S<sub>2012</sub> apresentou tempos significativamente diferentes quando comparado com o VTS, sendo menor quando a cor do estímulo foi vermelha e maior quando a cor do estímulo foi amarela (mesma cor entre os softwares). A média do TRT na avaliação com estímulo vermelho no TRT\_S<sub>2012</sub> foi de 83,7ms sendo que no VTS a média foi de 86,5ms.

Também se rejeita a hipótese nula de igualdade entre as medidas do desempenho do robô no mesmo Software TRT\_S<sub>2012</sub> quando a cor do estímulo foi diferente (amarela e vermelha), mas se

**Table 4:** Aplicação dos testes de *Mann-Whitney* e *Kolmorov-Smirnov* para as medidas obtidas com o robô *Emboici Robot* com os softwares TRT\_S<sub>2012</sub> e *Vienna Test System* em três dias distintos (com alteração da cor do estímulo para o Software TRT\_S<sub>2012</sub>)

		Software TRT_S <sub>2012</sub>		
Cor do estímulo:		Red	Yellow	Yellow
Dia da medição:		Day 1	Day 2	Day 3
Vienna Test	MW	Z=-7,54*	Z=-23,42*	Z=-24,33*
System	KS	Z=3,40*	Z=9,99*	Z=10,32*
TRT_S <sub>2012</sub>	MW		Z=-31,38*	Z=-32,54*
Vermelho Dia 1	KS		Z=13,78*	Z=14,12*
TRT_S <sub>2012</sub>	MW			Z=-0,90, p=0,366
Amarelo - Dia 2	KS			Z=0,58, p=0,896

Nota: \* = p = 0,000; MW = *Mann-Whitney*; KS = *Kolmorov-Smirnov*.

**Tabela 5:** Aplicação do teste *t* para amostras em pares para as medidas obtidas com os softwares TRT\_S<sub>2012</sub> e *Vienna Test System* na execução do robô *Emboici Robot* em três dias distintos (com alteração da cor do estímulo para o Software TRT\_S<sub>2012</sub>)

Pares com Software, cor do estímulo e dia de execução	t	gl	p
TRT_S <sub>2012</sub> vermelho Dia 1 e VTS	-6,859	747	0,000
TRT_S <sub>2012</sub> amarelo Dia 2 e VTS	26,705	749	0,000
TRT_S <sub>2012</sub> amarelo Dia 3 e VTS	26,907	751	0,000
TRT_S <sub>2012</sub> vermelho Dia 1 e TRT_S <sub>2012</sub> amarelo Dia 2	-38,653	1079	0,000
TRT_S <sub>2012</sub> vermelho Dia 1 e TRT_S <sub>2012</sub> amarelo Dia 3	-39,721	1180	0,000
TRT_S <sub>2012</sub> yellow Dia 2 e TRT_S <sub>2012</sub> amarelo Dia 3	-0,970	1082	0,332

Nota.  $\alpha = 0,05$ ; VTS = *Vienna Test System*; gl = graus de liberdade.

aceita a hipótese nula de igualdade quando as cores foram iguais (amarela). A média do TRT na cor vermelha foi 83,7ms sendo que na cor amarela foi 97,0ms e 97,3ms para os Dia2 e Dia3, respectivamente.

## DISCUSSÃO

Este estudo objetivou validar o Software TRT\_S<sub>2012</sub> para medir o tempo de reação total simples visual buscando a validade concorrente entre os testes do TRT\_S<sub>2012</sub> e do software *Vienna Test System* (VTS), a validade de conteúdo pelos TRTs de adultos jovens, e a validade mecânica e funcional pelos TRTs do robô *Emboici Robot* na comparação com o VTS e com ele próprio.

Pouco se sabe sobre a confiabilidade de testes computadorizados para avaliação da fadiga mental a partir do TRT, pois não foi encontrado nenhum software com uma proposta semelhante. Os resultados do presente estudo parecem indicar que o teste proposto pelo Software TRT\_S<sub>2012</sub> é confiável quando administrado em adultos jovens.

Isso torna o Software TRT\_S<sub>2012</sub> indicado para testes de avaliação da fadiga mental, especialmente em atividades onde existe o risco de danos causados por ela. Os resultados também sugerem que em adultos jovens, as medidas de desempenho no tempo de reação total (TRT) são mais confiáveis do que as medidas de precisão da resposta. Isso pode ter ocorrido porque a precisão do desempenho dos participantes estava perto do ideal, tanto

nos testes propostos pelo Software TRT\_S<sub>2012</sub> quanto no *Vienna Test System*.

Diversos autores têm desenvolvido softwares com testes de tempo de reação (TR) simples ou de escolha apresentando a validação dos mesmos<sup>18, 19</sup>. A importância dos testes com TR estimulam alguns autores a propor instrumentos com custo mais acessível para aplicação clínica, validando com outro software<sup>20</sup> ou com um testador de TR eletrônico<sup>21</sup>.

Nos adultos jovens os desempenhos no TRT simples com estímulo visual foram altamente correlacionados, enquanto que, com o teste de avaliação da fadiga mental a correlação foi intermediária para o estímulo inicial e muito pouco com o estímulo final. Uma explicação para este fato é que o teste de TRT simples com estímulo visual de ambos os softwares avaliam os mesmos processos cognitivos, enquanto que a similaridade na execução do teste de avaliação da fadiga mental a partir do TRT ocorre exatamente com a identificação do estímulo inicial, quando deve ser pressionada a tecla de espaço. Já para a identificação do estímulo final, a tecla deve ser liberada. Estes resultados também podem sugerir que as medidas obtidas no teste de avaliação da fadiga mental são mais sensíveis aos efeitos da fadiga mental do que os testes convencionais. Outros estudos comparativos sobre a utilidade clínica do teste de avaliação da fadiga podem ajudar a esclarecer estas diferenças.

Outra análise que pode ser realizada sobre a diferença nos tempos de reação entre os testes de TRTSimples e TRTFadiga dizem respeito as diferen-

ças da escala de apresentação do estímulo entre os dois métodos de medição. O aparecimento da alteração da cor para TRTFadiga é realizada numa escala gradual. Isso resulta em um pequeno ângulo visual. Especialmente na identificação do final do estímulo. Este teste faz com que a correta identificação dos estímulos seja muito mais difícil do que no teste de TRTSimples.

Embora as estimativas de confiabilidade do coeficiente de correlação intraclass ICC > 0,90 fosse o ideal, este parece ser um ponto de referência irrealista para um teste de avaliação de algo tão complexo como a velocidade de processamento do cérebro durante períodos de tempo prolongados<sup>20</sup> como o proposto no teste de avaliação da fadiga mental a partir do TRT.

A confiabilidade foi considerada apropriada, pois o menor alfa de Cronbach ficou acima de 0,74. Maroco e Garcia-Marques<sup>22</sup> afirmam que quanto mais elevadas forem as covariâncias (ou correlações entre os itens, representada pelo alfa de Cronbach), maior é a homogeneidade dos itens e maior é a consistência com que medem a mesma dimensão ou constructo teórico. Assim, como estes coeficientes se aproximaram de 1 (0,93, 0,83 e 0,74, respectivamente para TRTSimples, TRTiFadiga e TRTfFadiga), significando que mais consistente e, consequentemente, mais fiável é o instrumento. O alfa de Cronbach encontrado para o VTS de 0,94 confirma o coeficiente reportado por Schuhfried e Prieler<sup>14</sup>.

Os dados médios apresentados na Tabela 1 indicam que os adultos jovens respondem rapidamente e geram poucos erros nos testes de função psicomotora. Em contrapartida, eles respondem mais lentamente e geram mais erros no teste de avaliação da fadiga mental. Este efeito é sempre mais exacerbado em um teste de aprendizagem mais complexo<sup>13</sup>. Assim, o aparecimento da fadiga mental pode ser estudado através da análise da alteração gradual da eficiência do processamento de informação, como resultado das atividades mentais sustentadas<sup>23</sup>.

No estudo de Schellekens *et al.*<sup>24</sup>, para investigar a hipótese de que longas demandas de trabalho mental são refletidas negativamente na atenção da execução de tarefas, somente o número de erros foi significativamente maior ao final da tarefa mais difícil. No presente estudo, a menor precisão foi apontada para a identificação do final do teste de avaliação da fadiga mental.

O mesmo efeito foi observado por Lorist *et al.*<sup>25</sup>, ao examinarem os efeitos da fadiga mental em processos de controle cognitivos específicos envolvidos no planejamento e na preparação de futuras atividades, onde com o aumento da fadiga mental, os processos de preparação pareciam menos adequados e o número de erros aumentou.

Os dois *softwares* com seus testes de TRT simples com estímulo visual foram testados com o robô *Emboici Robot*, que detecta a alteração da cor do estímulo no monitor e reage pressionando o teclado no *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> ou o botão do painel de resposta para o *Vienna Test System*. O desempenho do *Emboici Robot* foi testado anteriormente em 1.200 execuções apresentando uma média de

46,95ms ( $DP=6,04$ )<sup>9</sup>, porém, o desempenho foi superior nos dois *softwares* aqui testados.

Na Tabela 5 observa-se diferenças significativas do TRT no mesmo "dia1" com modificação apenas da cor do estímulo de amarelo para vermelho. Houve homogeneidade dos TRTs em torno da média, tanto no TRT na cor amarela quanto na cor vermelha. A diferença significativa ocorre precisamente pelo fato de que pequenas diferenças na medida são importantes quando os dados variam apenas pela alteração da montagem da cor no monitor, mas isso só pôde ser identificado porque os TRTs foram resultantes do comportamento do robô.

Ohyanagi and Sengoku<sup>26</sup> apresentaram uma solução para medir a precisão no tempo de reação, o SMART, podendo ser usado em qualquer computador que possua uma entrada USB. Os autores concluem que o SMART é uma solução simples e prática para medir o TRT, especialmente em aplicações clínicas, devido a sua estabilidade, precisão, tamanho, custo e facilidade de utilização.

Uma solução muito próxima do *Emboici Robot* foi proposta por Neath *et al.*<sup>8</sup>, onde um fotodetector identifica a alteração da tela em termos de luminosidade, e quando isso ocorre, um relé foi ativado que, por sua vez, ativou um solenoide, que posicionado sobre o teclado, pressionou uma tecla. Os autores concluem que os TRTs coletados podem detectar uma diferença tão pequena quanto 5-10ms, e isso determina quais tipos de pesquisa devem ou não usar determinados sistemas.

Mais importante a ser considerado é a diferença de mais de 13ms (em média) encontrada quando utilizado o mesmo *Software* TRT\_S<sub>2012</sub> alterando apenas a cor do estímulo (vermelho para amarelo). Apesar das vantagens da iluminação contínua e de baixa emissão eletromagnética de um monitor LCD (*liquid crystal display*), estes monitores apresentam problemas com o tempo e a fidedignidade da apresentação das cores com milissegundos de diferença (às vezes até 10ms)<sup>27</sup>. Considerando que a taxa de atualização determina a velocidade na qual uma imagem é exibida em um monitor LCD e normalmente se inicia em 60Hz nos modernos monitores, isso significa que ele poderá levar até 16,6ms para determinada cor aparecer em um monitor LCD aliado ao fato de que o tempo de atualização de um pixel para um novo pixel é de normalmente 5ms<sup>28</sup>. Isto nos faz olhar com preocupação para a diferença apresentada na alteração da cor do estímulo, sugerindo que novos testes possam ser conduzidos no sentido de verificar as diferenças na parametrização de outras cores, além de outros tipos de monitores, teclados e sistemas operacionais.

Existe uma diferença entre os tempos de reação medidos com o computador, conforme verificado com o uso do robô em dois *softwares* diferentes e esta diferença deve ser considerada ao se projetar paradigmas de estudo aproveitando a tecnologia dos computadores atuais.

Reforça-se a necessidade de avaliar cuidadosamente os recursos computacionais utilizados (sistema operacional, *software* de programação, computador, teclado e monitor), principalmente

quando necessária a comparação com diversas populações ou com diferentes estímulos como a cor, por exemplo, tendo-se o cuidado de avaliar o impacto de cada recurso e a utilização de um equipamento de medição fidedigno como o robô *Emboici Robot* pode contribuir para identificar as possíveis diferenças nos recursos empregados.

O *Emboici Robot* pode variar, permitindo a utilização de diferentes componentes para seu uso em diferentes pesquisas e para atender diferentes necessidades. É possível substituir o fotosensor, a placa Arduino, o servo motor e a própria haste de pressionamento. Um servo motor com maior potência pode dar mais velocidade ao movimento do braço e mais força no momento do pressionamento, porém estas alterações exigem novas medidas de validação.

Quanto aos testes propostos pelo *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* pode-se afirmar que o esforço mental prolongado pode afetar negativamente o bem-estar e a saúde por ativar os sistemas fisiológicos ligados às reações de estresse. Portanto, a identificação clara da fadiga mental a partir do tempo de reação total (TRT) pode ser um instrumento útil para diversas pesquisas. Por isso, o *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* é ideal para uso em investigações sobre a fadiga mental, além dos testes de TRT simples comumente empregados para monitorar a recuperação ou para determinar a gravidade do déficit cognitivo ou da fadiga mental.

## REFERÊNCIAS

1. Atrash K, Carpentier R. The evolving role of public health in the delivery of health care. *Revista brasileira de crescimento e desenvolvimento humano*. 2012;22:396-399.
2. Eckner JT, Richardson JK, Kim H, Lipps DB, Ashton-Miller JA. A Novel Clinical Test of Recognition Reaction Time in Healthy Adults. *Psychological Assessment*. Mar 2012; 24(1): 249-254.
3. Charchat H, Nitrini R, Caramelli P, Sameshima K. Investigação de Marcadores Clínicos dos Estágios Iniciais da Doença de Alzheimer com Testes Neuropsicológicos Computadorizados. *Psicologia: Reflexão e Crítica*. 2001;14: 305-316.
4. Baayen RH. Analyzing Reaction Times. *International Journal of Psychological Research*. 2010;3(2):12-28.
5. Vogt T, Schneider S, Abeln V, Anneken V, Struder HK. Exercise, mood and cognitive performance in intellectual disability-A neurophysiological approach. *Behavioural Brain Research*. Jan 2012;226(2):473-480.
6. Crocetta TB, Viana RL, Silva DE, Andrade A. Validação preliminar do Software TRT\_S2012 para medição do Tempo de Reação Total: Estudo piloto [Preliminar validation of TRT\_S2012 Software for measuring Total Reaction Time: A Pilot Study]; 2013 (Submitted):11.
7. Van der Linden D, Frese M, Meijman TF. Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*. 2003;113(1):45-65.
8. Neath I, Earle A, Hallett D, Surprenant AM. Response time accuracy in Apple Macintosh computers. *Behavior Research Methods*. Jun 2011;43(2):353-362.
9. Crocetta TB, Kroich T, Thiesen AC, et al. A Robot for Verifying the Precision of Total Reaction Time Measurement; Motriz. 2014 (ahead of print):16.
10. Zwierko T, Osinski W, Lubinski W, Czepita D, Florkiewicz B. Speed of Visual Sensorimotor Processes and Conductivity of Visual Pathway in Volleyball Players. *Journal of Human Kinetics*. Mar 2010;23:21-27.
11. Ishihara M, Imanaka K, Mori S. Lateralized effects of target location on reaction times when preparing for manual aiming at a visual target. *Human Movement Science*. 2002;21(5-6): 563-582.
12. Raymundo VP. Construção e validação de instrumentos: um desafio para a psicolinguística. *Letras de Hoje*. 2009;44(3):86-93.
13. Collie A, Maruff P, Makdissi M, McCrory P, McStephen M, Darby D. CogSport: Reliability cognitive tests used in and correlation with conventional postconcussion medical evaluations. *Clinical Journal of Sport Medicine*. Jan 2003;13(1):28-32.
14. Schuhfried G, Prieler J. Manual Vienna Test System - Teste de Reações Simples e de Escolha [Vienna Test System Manual - Reaction Time]. In: 29.00 V, ed. Mödling: Dr. G. Schuhfried Ges.m.b.H.; 2005:44.
15. Amoroso D. Como funcionam e como escolher uma placa de vídeo para você. <http://www.tecmundo.com.br/artigos->

## CONCLUSÃO

Nossos resultados confirmam a viabilidade do uso de medição de tempo de reação com uso do computador e teclado para avaliação neurocognitiva. As medições são fidedignas e válidas e a tecnologia dos computadores atuais não aumenta significativamente o erro de medição.

Cabe registrar que a comparação dos desempenhos obtidos em diferentes configurações de *software* e *hardware* deve ser acompanhada da verificação dos atrasos causados por este conjunto, e que isto só é possível pela utilização de um equipamento desenvolvido especificamente para este fim como o robô *Emboici Robot*.

## CONCLUSÃO

Considerados em conjunto, os resultados do presente estudo indicam que o *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* é um teste fidedigno e válido quando administrado em adultos jovens. Além disso, os desempenhos obtidos no *Software TRT\_S<sub>2012</sub>* se correlacionam altamente com o teste proposto pelo *Vienna Test System (VTS)*, permitindo afirmar que é possível o uso do teclado do computador com a mesma fidedignidade de um acessório externo como o painel de resposta do VTS.

## Agradecimentos

Programa UNIEDU Pós-graduação, Programa de bolsas universitárias de Santa Catarina.



- imprimir.asp?c=1632. Accessed 27 jun.2013, 2013.
16. Lachaud CM, Renaud O. A tutorial for analyzing human reaction times: How to filter data, manage missing values, and choose a statistical model. *Applied Psycholinguistics*. Apr 2011;32(2):389-416.
  17. Leech NL, Barrett KC, Morgan GA. *SPSS for Intermediate Statistics: Use and Interpretation*. 2. ed. ed. Mahwah, New Jersey, London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers; 2005.
  18. Deary IJ, Liewald D, Nissan J. A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*. Mar 2011;43(1):258-268.
  19. Spruyt A, Clarysse J, Vansteenwegen D, Baeyens F, Hermans D. Affect 4.0 A Free Software Package for Implementing Psychological and Psychophysiological Experiments. *Experimental Psychology*. 2010;57(1):36-45.
  20. Eckner JT, Kutcher JS, Richardson JK. Between-Seasons Test-Retest Reliability of Clinically Measured Reaction Time in National Collegiate Athletic Association Division I Athletes. *Journal of Athletic Training*. Jul-Aug 2011;46(4): 409-414.
  21. Mercer VS, Hankins CC, Spinks AJ, Tedder DD. Reliability and Validity of a Clinical Test of Reaction Time in Older Adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy*. 2009;32(3): 103-110.
  22. Maroco J, Garcia-Marques T. Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? *Laboratório de Psicologia*. 2006;4(1):65-90.
  23. Meijman TF. Mental fatigue and the efficiency of information processing in relation to work times. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Jul 1997;20(1):31-38.
  24. Schellekens JMH, Sijtsma GJ, Vegter E, Meijman TF. Immediate and delayed after-effects of long lasting mentally demanding work. *Biological Psychology*. May 2000;53(1):37-56.
  25. Lorist MM, Klein M, Nieuwenhuis S, De Jong R, Mulder G, Meijman TF. Mental fatigue and task control: Planning and preparation. *Psychophysiology*. Sep 2000;37(5):614-625.
  26. Ohyanagi T, Sengoku Y. A solution for measuring accurate reaction time to visual stimuli realized with a programmable microcontroller. *Behavior Research Methods*. Feb 2010;42(1).
  27. Wang P, Nikolic D. An LCD monitor with sufficiently precise timing for research in vision. *Frontiers in Human Neuroscience*. Aug 2011;5.
  28. Boyaci O, Forte A, Baset SA, Schulzrinne H, Ieee. vDelay: A Tool to Measure Capture-to-Display Latency and Frame Rate. *2009 11th Ieee International Symposium on Multimedia (Ism 2009)*. 2009:194-200.

## ABSTRACT

**Objective:** Determine the validity of the TRT\_S<sub>2012</sub> software in to assess the total reaction time (TRT) with a simple visual stimulus (TRTSimple) and mental fatigue from TRT (TRTFatigue). **Methods:** Three types of validation were applied: a) concurrent, for determining the correlation between the TRT\_S<sub>2012</sub> Software and Vienna Test System (VTS), b) content of a sample of adults, and c) mechanical, using a robot that performs a mechanic motion to respond to a light stimulus. The study included 216 young adults, college students aged 17 – 45 years ( $x = 24.0 \pm 6.0$ ) and a robot. Descriptive and inferential statistics were used for performance on TRT obtained by young adults and robot in two software. **Results:** The intra-class correlation in the adults TRT showed strong correlation between VTS and TRTSimple ( $R = .72$ ). Identification of the proposed initial stimulus in TRTFatigue presented intermediate correlation with VTS ( $R = .56$ ) and the final stimulus presented low correlation with VTS ( $R = .35$ ). The robot TRT showed standard deviation ranging .5 ms (on average) between the highest and lowest. The standard error of the mean ranged from .23 to .28 and the distributions were homogeneous between 8.2 to 9.7%. **Conclusion:** The results confirmed the validity of the software TRT\_S<sub>2012</sub>. It is a reliable cognitive test that can be applied to young adults for measuring the TRT with simple visual stimuli and for evaluating the influence of mental fatigue from the TRT. however, the delays caused by the computer resources used should be considered and measured with a resource like the robot. We conclude that the TRT\_S<sub>2012</sub> software is valid for assessing the TRT and cognitive fatigue in healthy adults.

**Key words:** reaction time, mental fatigue, software.