

Retrasos en la medición del tiempo con el uso de computadoras en la investigación del Tiempo de Reacción: Una revisión sistemática¹

Tânia Brusque Crocetta* y Alexandre Andrade**

THE PROBLEM OF MEASURING REACTION TIME USING SOFTWARE AND HARDWARE: A SYSTEMATIC REVIEW

KEYWORDS: Reaction Time, Computer, Software, Hardware.

ABSTRACT: Reaction time (RT) is a sensitive measure and has been applied in modern Psychology and in Psychology of Sport and Exercise. This study aimed to identify potential delays in time measurement with the use of computers in RT research through the analysis of scientific production from articles published in the electronic database *Web of Science® powered by Thomson Reuters Web of KnowledgeSM*. The publications analyzed delays generated in the use of a CRT/LCD monitor, keyboard or mouse, finding significant differences. DOS, Mac, Linux and Windows Operating systems were investigated. The results of the studies reported delays ranging from 0.0006 to 80ms in the keyboards evaluated; 8 to 52ms in 'mice'; and 0.0005 to 68ms in the monitors. Although computers are widely used for RT measurements, the reliability of time measurement is directly related to the technical characteristics of the accessories used and the configuration of the operating system. We conclude that studies with computer-measured RT tests must be carefully analyzed, since the effectiveness of the time measurements is directly related to the type and quality of the equipment used, as well as the operating systems and software developed. A discussion regarding the scientific literature on the problem of using computers to perform tests involving time measurement, possible errors involving the use of software and hardware, as well as the solutions that have already been found to decrease their impact on time measurement is important for Psychology of Sport and Exercise, because it will enable us to suggest the care needed to obtain a reliable measurement.

El Tiempo de Reacción (TR) es estudiado en seres humanos desde 1822, cuando Bessel identificó las diferencias existentes en los registros de los movimientos de las estrellas a través de un hilo de cabello en un telescopio por diferentes observadores (Schaffer, 1988). Antes de eso se creía que el proceso mental era demasiado rápido para ser medido (Perera y Haupt, 2012).

Después de los registros de Bessel (1784-1846), otros investigadores como Helmholtz (1821-1894), Mitchel (1810-1862), Hirsch (1830-1901), Donders (1818-1889), Exner (1846 -1926), Wundt (1832-1920), Galton (1822-1911) y Cattell (1860 -1944) fueron los precursores de los estudios de Tiempo de Ración (TR) en el siglo XIX.

Varios instrumentos para medir el TR fueron propuestos a lo largo de estos años, evolucionando del quimógrafo para el galvanómetro, telégrafo, cronógrafo de barril, cronómetro de Hipp (New, 2012), hasta llegar al uso del ordenador para la generación del estímulo y la medición de la respuesta.

El término que comenzó como *Personal Equation* (Ecuación Personal) cedió su lugar en la evolución al término "Tiempo de Reacción", iniciado por Wundt y Donders (Schaffer, 1988), siendo definido como un proceso que involucra un estímulo inicial seguido por un estímulo imperativo seguido de la respuesta (Klapp, 2003); es la suma del tiempo necesario para la percepción de evaluación de un estímulo y el tiempo que es necesario para el *inicio* de una respuesta (Zajdel y Nowak, 2007); es un periodo entre la presentación de un estímulo imperativo y el inicio de la respuesta motora apropiada (Erickson et al., 2011).

Así, el TR lleva siendo estudiado desde el siglo XIX, siendo uno de los más antiguos métodos de diagnóstico utilizado en Psicología moderna (Zajdel y Nowak, 2007), y persiste hasta los días actuales (Deary, Liewald y Nissan, 2011), principalmente con la utilización del ordenador (Coppel, 2011).

El TR con estímulos simples implica una respuesta rápida a este estímulo y es llamado TR Simple, diferenciándose del TR de Elección, que requiere una respuesta apropiada a los estímulos mostrados (Deary et al., 2011). Se observa que, para determinar una misma influencia (como el género, por ejemplo), las tareas propuestas en cada software son distintas, así como el dispositivo utilizado para la indicación de la respuesta. Se percibe que no hay un patrón que pueda comparar los resultados obtenidos (Deary et al., 2011; Li, Liang, Kleiner y Lu, 2010).

Aún así, dos metaanálisis realizados por Silverman (2006, 2010), concluyen que la medida del TR visual simple ha disminuido entre los sexos a lo largo del tiempo (Silverman, 2006) y ha aumentado entre los jóvenes adultos (Silverman, 2010). El autor considera poco probable que estas diferencias en los resultados se deban a los instrumentos.

Esta problematización y la afirmación de Silverman (2006, 2010) nos llevan a cuestionar los instrumentos de investigación relacionados con el TR, principalmente con el uso del ordenador y sus accesorios. Por tanto, el objetivo de este estudio es analizar la producción científica referida a los retrasos en la medición de tiempo, utilizando el ordenador en experimentos como el Tiempo de Reacción, a partir de artículos publicados en la base de datos electrónicos *Web of Science® Thomson Reuters Web of KnowledgeSM*.

Correspondencia: Tânia Brusque Crocetta. Rua Pascoal Simone, 358 - Coqueiros - Florianópolis - SC - Brazil - CEP 88080-350. E-mail: tania.crocetta@udesc.br

¹ Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina - PROGRAMA UNIEDU PÓS-GRADUAÇÃO.

* Doutoranda em Ciências da Saúde pela Faculdade de Medicina do ABC (FMABC), São Paulo, Brasil. Mestre em Ciências do Movimento Humano pelo Centro de Ciências da Saúde e do Esporte (CEFID), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Santa Catarina, Brasil. Pesquisadora associada do Laboratório de Psicología do Esporte e do Exercício (LAPE).

** Professor de Graduação, Mestrado e Doutorado do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte (CEFID), Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Santa Catarina, Brasil. Coordenador do Laboratório de Psicología do Esporte e do Exercício (LAPE).

Fecha de recepción: 20 de Agosto de 2013. Fecha de aceptación: 15 de Febrero de 2015.

Método

Se trata de una revisión sistemática que sigue las recomendaciones constantes del PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – (Liberati et al., 2009); es un estudio que utiliza como fuente de datos la literatura sobre determinado tema, disponiendo un resumen de las evidencias relacionadas a un tema específico, por la utilización de métodos explícitos y sistematizados de búsqueda, apreciación crítica y síntesis de la información seleccionada (Fernandez-Rios y Buela-Casal, 2009; Sampaio y Mancini, 2007).

Procedimiento

Este estudio investigó la producción científica sobre el uso del ordenador en mediciones de tiempo, en investigaciones con tiempo de reacción (TR) publicadas en revistas indexadas en la base de datos electrónica *Web of Science®* de Thomson Reuters *Web of Knowledge™* que dispone, de forma online, de toda la red de citaciones de los artículos publicados en revistas indexadas por el ISI (*Institute for Scientific Information*), (Vanz y Caregnato, 2003).

La búsqueda se realizó en Julio del 2012, utilizando como filtro para la investigación de los términos encontrados con *Topic*, que incluye el título, el resumen de las palabras claves. A partir de los descriptores de busca *reaction time* y **accura** y asociados a los términos *computer* o *software* o *hardware*, las búsquedas presentaron 121, 37 y 10 artículos, respectivamente (donde el asterisco “*” representa un comodín pudiendo retornar tanto las investigaciones que contengan *accuracy* cuanto *accurate* o *inaccurate*). A partir de la lectura de los títulos, se escogieron veintiún artículos. Tras eliminar las duplicaciones, se seleccionaron quince artículos para la lectura de los resúmenes y once artículos fueron leídos íntegramente por dos investigadores.

Después de la lectura y el análisis de los 11 artículos mencionados, se llevó a cabo una nueva selección de los artículos que fueron citados por 3 o más trabajos y que fueron publicados después del año 1988 (primer año de los artículos seleccionados en la base de datos), obteniendo cinco artículos que también se leyeron íntegramente y que pasaron a componer este análisis; son indicados como trabajos de otras fuentes (Figura 1).

Después de la lectura los artículos fueron tabulados mediante características identificadas como relevantes para la presente revisión sistemática.

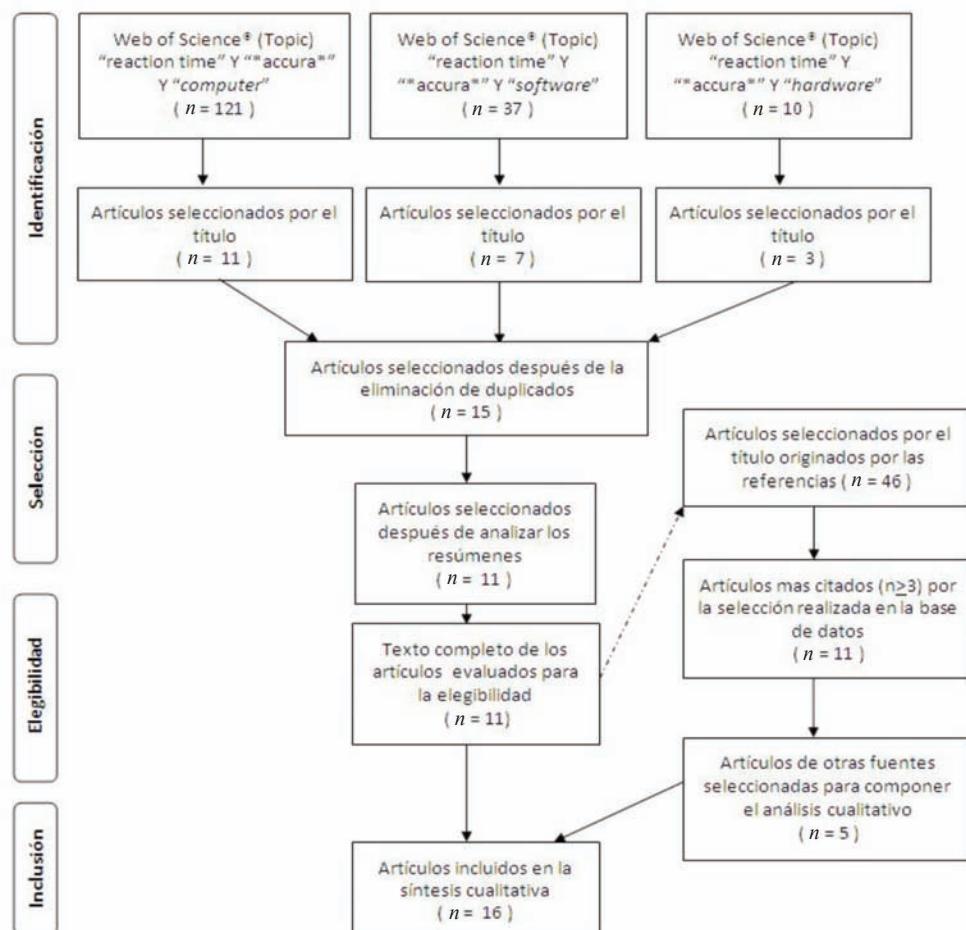


Figura 1. Proceso de selección de estudios relacionados al uso del ordenador y sus accesorios para la medida de tiempos en experimentos con tiempo de reacción (adaptado de Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman y Grp, 2009).

Resultados

Los artículos incluidos en la investigación son presentados en la Tabla 1, destacando los siguientes datos: los autores y año de publicación, sistema operativo investigado, lenguaje de

programación propuesta, tema central de la investigación, ítem evaluado (accesorio o lenguaje de la programación) y retraso medio en milisegundos. También son nombradas las referencias utilizadas por los autores que, después de la selección por el título, fueron consideradas relevantes para un nuevo análisis cualitativo.

Autor (año)	Sistema Operativo	Lenguaje programación	Tema central	Ítem evaluado	Retraso medio en ms	Citaciones
(Neath, Earle, Hallett y Surprenant, 2011)	Mac OS X	MATLAB Octave Java JavaScript Flash	Propone un accesorio para medición de la precisión del TR.	Teclado LCD y CRT JavaScript Java applets Flash	20 8-9 10 3 10	De Clercq, Crombez, Buysse y Roeyers (2003); MacInnes y Taylor (2001); Plant, Hammond y Turner (2004); Plant y Turner (2009); Ulrich y Giray (1989); Reimers y Stewart (2007); Stevenson, Francis y Kim (1999)
(Damian, 2010)	-	-	Imprecisión de los accesorios; es insignificante por la variabilidad del desempeño humano en las medidas de TR.	Teclado	4,91	Forster (2007); Forster y Forster (2003); Lincoln y Lane (1980); Plant, Hammond y Turner (2004); Ulrich y Giray (1989)
(Ohyanagi y Sengoku, 2010)	Mac OSs Windows XP y Vista	Visual Basic y DirectX 9.0	Propone un accesorio para medición de la precisión del TR.	CRT LCD	46-60 62-68	Krantz (2000); Plant, Hammond y Whitehouse (2003); Shimizu (2002); Forster y Forster (2003); Plant, Hammond y Turner (2004); McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer (1999); De Clercq, Crombez, Buysse y Roeyers (2003); Häusler, Sommer y Chroust (2007); Xie, Yang, Yang y He (2005)
(Spruyt, Clarysse, Vansteenvwege, Baeyens y Hermans, 2010)	Windows XP	-	Propone un software para medición del TR y argumenta su precisión	Affect 4.0	-	Myors (1999); Crosbie (1990); Plant, Hammond y Turner (2004); Segalowitz y Graves (1990); Voss, Leonhart y Stahl (2007)
(Keller, Gunasekharan, Mayo y Corley, 2009)	Linux y Windows	Java	Evaluá la precisión de las medidas de TR obtenidas en experimentos en la web.	WebExp	183	Eichstaedt (2001); Forster y Forster (2003); MacInnes y Taylor (2001); McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer (1999); Myors (1999)
(Cernich, Brennan, Barker y Bleiberg, 2007)	Linux Mac OS Windows	-	Evaluá la precisión de las medidas de TR en varias configuraciones de ordenadores y sus accesorios.	Windows XP Monitor CRT Ratón Pantalla sensible al toque Ambiente controlado en Linux Ambiente no controlado en la Web CRT	10-15 10-18 8-25 30 10 30-40 20-30	Chambers y Brown (2003); Gofen y Mackeben (1997); MacInnes y Taylor (2001); McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer (1999); Myors (1999)
(Reimers y Stewart, 2007)	Linux y Windows	C Flash y ActionScript	Evaluá la precisión de las medidas de TR con uso de Flash.	Botón CMU Ratón serial Ratón PS/2 Porta paralela	3-20 32-39 27 0.01-0.022	Ulrich y Giray (1989); Finney (2001); Schmidt (2001); Stewart (2006a); Stewart (2006b)
(Plant, Hammond y Turner, 2004)	Mac OS Windows	-	Propone un accesorio para medición de la precisión del TR.	TFT Teclado Botón CMU Ratón serial Ratón PS/2 Porta paralela	40-50 8-80 3-20 32-39 27 0.01-0.022	Introducido por otras fuentes (a partir de las citaciones)
(Chambers y Brown, 2003)	Windows	Visual Basic 5	Evaluá la precisión de las medidas de TR de algunos accesorios en el Windows.	TFT Teclado Botón CMU Ratón serial Ratón PS/2 Porta paralela	40-50 8-80 3-20 32-39 27 0.01-0.022	Graves y Bradley (1987, 1988); Dilhopsky (1988); Emerson (1988); Warner y Martin (1999); Bovens y Brysbaert (1990); Creerer, Miller y Paredes (1990); Hamm (2001); Heathcote (1988); Beringer (1992); Crosbie (1990); Segalowitz y Graves (1990); Myors (1998, 1999); McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer (1999); Ulrich y Giray (1989); Bovens y Brysbaert (1990); Bührer, Sparre y Weitkunat (1987); Crosbie (1989); De Clercq y Buysse (1999); Emerson (1988); Forster y Forster (1999); Graves y Bradley (1987); Heathcote (1988); Myors (1998, 1999)
(De Clercq, Crombez, Buysse y Roeyers, 2003)	DOS y Windows	Visual Basic 6	Propone una solución para medición de la precisión del TR	-	-	

CRT=pantalla con tubo de rayos catódicos; LCD= pantalla de cristal líquido; TFT= pantalla con transistor de película fina; PS/2= Puerta de conexión normalizada para teclado y ratón.

* Diferencia absoluta presentada entre 8 diferentes configuraciones de computadoras.

Tabla 1. Artículos publicados sobre la temática “retrasos en la medición de los tiempo de reacción con uso de ordenador y sus accesorios”.

Autor (año)	Sistema Operativo	Lenguaje programación	Tema central	Ítem evaluado	Retraso medio en ms	Citaciones
(Forster y Forster, 2003)	Windows	Direct X	Propone un software para medición del TR y argumenta su precisión	Switch Joystick Ratón serial Teclado C	18-33 28-31 44-52 33-69 190*	Introducido por otras fuentes (a partir de las citaciones)
(Eichstaedt, 2001)	Mac OS y Windows	C y Java	Evaluá la precisión de las medidas de TR de aplicaciones Java y C	Java Java con filtro	187* 182*	Myors (1999); Peterson (1998)
(MacInnes y Taylor, 2001)	Mac OS Linux y Windows	C	Propone un software para medición del TR y argumenta su precisión	Linux Mac OS Windows	0-7 0-3 0-4	Introducido por otras fuentes (a partir de las citaciones)
(McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer, 1999)	Windows	Visual Basic	Propone un accesorio para la medición del TR con precisión	Accesorio externo	0,1	Introducido por otras fuentes (a partir de las citaciones)
(Brett Myors, 1999)	DOS Windows	C	Evaluá la precisión de las medidas de TR en varias configuraciones del sistema operativo	Teclado Monitor	0.0006 -40 0.0005 -56	Introducido por otras fuentes (a partir de las citaciones)
(B. Myors, 1998)	-	C	Propone una solución de representación gráfica para la medición de la precisión del TR	Funciones "time-of-day" y "mode 2 timer"	-	Beringer (1992); Bovens y Brysbaert (1990); Brysbaert, Bovens, D'Ydewalle y van Calsteren (1989); Buhler, Sparrer y Weitkunat (1987); Creeger, Miller y Paredes (1990); Crosbie (1989); Dilhopsky (1988); Emerson (1988); Granaas (1989); Graves y Bradley (1987, 1988, 1991); Heathcote (1988); Segalowitz y Graves (1990)

CRT=pantalla con tubo de rayos catódicos; LCD= pantalla de cristal líquido; TFT= pantalla con transistor de película fina; PS/2= Puerta de conexión normalizada para teclado y ratón.

* Diferencia absoluta presentada entre 8 diferentes configuraciones de computadoras.

Tabla 1 (cont.). Artículos publicados sobre la temática “retrasos en la medición de los tiempo de reacción con uso de ordenador y sus accesorios”.

La primera publicación registrada en los periódicos investigados ocurre en el año 1998, siendo un artículo citado por otros dos trabajos en los años subsecuentes.

En relación a los sistemas operativos (SO) utilizados, hubo una predominancia del Windows ($n = 13$) en sus varias versiones, pero también fueron evaluados los sistemas Mac OS ($n = 6$), Linux ($n = 4$) y apenas dos con el DOS. Los trabajos de Damian (2010) y Myors (1998) no mencionan el SO. En cuanto al lenguaje de programación propuesto, hubo una diversidad de versiones, con más uso del C de la Borland, con cinco trabajos, seguidos por Visual Basic de Microsoft ($n = 4$) y Java de la Oracle ($n = 3$).

Nueve estudios proponen diferentes soluciones para medir la precisión del TR medido con un ordenador utilizando: a) un dispositivo externo (McKinney et al., 1999; Neath et al., 2011; Ohyanagi y Sengoku, 2010; Plant et al., 2004); b) un software específico (Forster y Forster, 2003; MacInnes y Taylor, 2001; Spruyt et al., 2010); c) un software ejecutado en una segunda computadora (De Clercq et al., 2003); o d) una representación gráfica desarrollada en C (Myors, 1998).

Los estudios que evaluaron la precisión de las medidas de TR

consideraron tanto los accesorios utilizados para registro de la respuesta (ratón, teclado, pantalla sensible al toque, switch y joystick) como para generación del estímulo (pantallas CRT, LCD y TFT), además del propio SO responsable por la ejecución de la tarea (DOS, Linux, Mac OS y Windows). También hubo una preocupación con el lenguaje de programación utilizado (C, Flash, Java, Linux, Windows), bien como del propio ambiente Web.

El estudio de Damian (2010) argumenta que no hay problema alguno en utilizar el ordenador y sus accesorios para las medidas de TR por considerar que la variabilidad asociada a los desempeños humanos en tareas de TR es mucho más grande como para ser influenciada por los atrasos causados por el ordenador.

Los atrasos encontrados varían de 0.0005 a 190ms, siendo el menor para el uso de la pantalla y el mayor para una aplicación desarrollada en lenguaje de programación C da Borland. Al observar solo en el teclado los atrasos reportados arían de 0.0006 a 80ms.

La lectura de los artículos indicó la necesidad de buscar las fuentes citadas, teniendo como resultado la Tabla 2.

Autores (año) citados por los 11 artículos de la búsqueda realizada	n
Myors (1999)	6
Ulrich y Giray (1989); McKinney, MacCormac y Welsh-Bohmer (1999); Plant, Hammond y Turner (2004)	4
Graves y Bradley (1987); Emerson (1988); Heathcote (1988); Bovens y Brysbaert (1990); Segalowitz y Graves (1990); MacInnes y Taylor (2001); Forster y Forster (2003)	3
Buhrer, Sparrer y Weitkunat (1987); Dlhopolsky (1988); Graves y Bradley (1988); Crosbie (1989); Creeger, Miller y Paredes (1990); Crosbie (1990); Beringer (1992); Myors (1998); De Clercq, Crombez, Buysse y Roevers (2003)	2
Lincoln y Lane (1980); Brysbaert, Bovens, D'Ydewalle y Van Calster (1989); Granaas (1989); Graves y Bradley (1991); Gofen y Mackeben (1997); Peterson (1998); De Clercq y Buysse (1999); Forster y Forster (1999); Stevenson, Francis y Kim (1999); Warner y Martin (1999); Krantz (2000); Eichstaedt (2001); Finney (2001); Hamm (2001); Schmidt (2001); Shimizu (2002); Chambers y Brown (2003); Plant, Hammond y Whitehouse (2003); Xie, Yang, Yang y He (2005); Stewart (2006a); Stewart (2006b); Forster (2007); Häusler, Sommer y Chroust (2007); Reimers y Stewart (2007); Voss, Leonhart y Stahl (2007); Plant y Turner (2009)	1

n = número de citaciones de los artículos seleccionados por el título a partir de las referencias del resultado de la búsqueda realizada en base a los datos.

Tabla 2. Citaciones utilizadas por los artículos publicados sobre la temática “retrasos en la medición del tiempo de reacción con uso del ordenador y sus accesorios”

El estudio más citado fue el de Myors (1999) con seis citas. Los demás estudios fueron citados en 4, 3, 2 o 1 estudios. Después de eliminar los estudios que ya están incluidos en la tabla 1, treinta y un estudios diferentes trataron el tema propuesto en esta revisión y fueron leídos para componer la discusión de este trabajo.

Discusión

La presente investigación analizó las publicaciones sobre los retrasos en la medición del tiempo con el uso del ordenadores y sus accesorios en experimentos con tiempo de reacción (TR) en base de datos *Web of Science®* de *Thomson Reuters Web of Knowledge™*, uno de los principales medios de divulgación científica con revistas indexadas por el ISI. Se trata de un tema relevante, principalmente con relación a los nuevos sistemas operacionales multitareas y al ordenador multiprocesador.

La década de los 70 puede ser recordada por la introducción de los microprocesadores, su rápida y significante contribución para la Psicología aplicada, principalmente en la administración de procedimientos psicométricos estandarizados, teniendo la necesidad de considerar cuidadosamente los problemas asociados con la administración de tests asistidos por ordenador, la calidad del software utilizado y un abordaje responsable para los procedimientos de la evaluación de forma confiable y válida (Beaumont, 1981, 1982; Cernich et al., 2007).

Las primeras preocupaciones registradas sobre el uso del ordenador para la medición del tiempo en tests psicológicos se encuentran en la década de los 80, cuando el sistema operacional dominante todavía era el MS-DOS y se basaba principalmente en el hardware existente. En este periodo, los estímulos eran mostrados en un monitor de rayos catódicos (CRT), cuyo problema más serio era el referente al error aleatorio introducido por el proceso de refresco de la digitalización para llenar la

imagen de la pantalla, que podría incrementarse en 23,15 milisegundos de media en el tiempo de reacción (Lincoln y Lane, 1980).

Los monitores TFT se mostraron más ineficientes, pues su brillo es alterado muy lentamente, tardando 40-50ms para alcanzar el total en la exhibición el brillo (esto es, para calentar), según el tipo de pantalla (Plant et al., 2004). También se analizan las preocupaciones con el uso del teclado (Forster y Forster, 2003), *keypad* o *light-pen* (Beaumont, 1985a, 1985b), existiendo considerables variables de un dispositivo a otro.

Además de los errores inherentes a los teclados normalizados de ordenador, existen otras fuentes de error que pueden aumentar potencialmente la variabilidad de las medidas del TR, como el microprocesador del teclado de diversos fabricantes, el tiempo de respuesta del teclado hasta el ordenador, el tiempo adicional que el chip de la placa-madre requiere para el procesamiento, además del propio sistema operativo que requiere un tiempo para procesar sus periféricos (Damian, 2010; Reimers y Stewart, 2007).

La introducción del *mouse* en la década de los 90 en sus versiones puerto serie o PS/2 también fue una preocupación, registrando una medida de atraso de transferencia de 24.6ms, 30.8ms y 21.5ms, respectivamente, y de la misma forma, para la mayoría de los experimentos, el *mouse* de puerto serie y PS/2 fueron considerados como dispositivos precisos (Beringer, 1992).

Sobre el mismo tema Segalowitz y Graves (1990), llevaron a cabo una investigación, encontrando que la mayoría de los experimentos no proporcionan datos sobre la calidad de temporización utilizada y que esto podría hacer sospechar que los datos conseguidos no serían comparables con los obtenidos en aparatos convencionales. Los autores cotejan retrasos causados en el uso de un teclado (cerca de 10ms), un *mouse* serial (31ms) y del puerto para juegos (game port = 2ms), siendo éste último el más recomendado para mediciones del TR (Segalowitz y Graves, 1990).

Pasados algunos años, era de esperar que los *mouses* más actuales presentaran mayor precisión; sin embargo, ocho *mouses* de diferentes modelos y fabricantes llegaron a presentar 66.9ms de diferencia máxima absoluta entre el mejor y el peor desempeño y una diferencia mínima de 47.6ms (Plant, Hammond, y Whitehouse, 2003).

Además de los problemas de retraso causados por los accesorios, algunos autores mencionan la falta de precisión del reloj interno del sistema operativo, proponiendo rutinas que aceden a la BIOS del hardware para obtener mayor precisión en la cuenta del tiempo (Beringer, 1992; Bovens y Brysbaert, 1990; Brysbaert, Bovens, d'Ydewalle y Van Calster, 1989; Dlhopolsky, 1988; Forster y Forster, 2003; Hamm, 2001; Myors, 1998; Warner y Martin, 1999; Xie, Yang, Yang y He, 2005).

Cernich y colaboradores (2007) presentaron una discusión sobre los principales problemas que deben ser considerados cuando se utiliza un ordenador para medición de los tiempos de reacción, en cada uno de sus ordenadores: el sistema operativo (Windows, Linux/Unix, MacOS, MS-DOS), los tipos de monitores (LCD o CRT) y los diversos periféricos (teclado, *mouse*, pantallas táctiles), enfatizando la necesidad tanto de usar el ordenador de forma responsable como de la comprensión de las complicaciones técnicas implicadas (Cernich et al., 2007), principalmente por el hecho de que todos esos factores pueden afectar a la precisión del tiempo (Keller et al., 2009).

Mates y Goldenberg (1994), preocupados con la influencia del hardware del ordenador, propusieron una interfaz independiente de las comunes en los ordenadores, utilizando un temporizador 8253-counter/timers para medir intervalos temporales con precisión de medición de 1ms, y un I/O 8253/8255 para emisión de las luces (LED) para la indicación del estímulo (Mates y Goldenberg, 1994).

Buscando también medir la precisión de los softwares de medición del TR, De Clercq y colaboradores (2003) propusieron un sistema para verificar la precisión de la medición de la presión del teclado, utilizando otros dos ordenadores independientes de aquél que ejecutaba el test -por tanto, independiente del *software* y *hardware*- utilizando una fotocélula para identificar el estímulo, refiriendo una precisión de 0.01ms (De Clercq et al., 2003).

El uso de herramientas para el entorno Web también fue testado para identificar la precisión de medición del tiempo, siendo considerado un entorno fiable (Eichstaedt, 2001; Keller et al., 2009).

El surgimiento de los sistemas operativos multitareas, como Windows, aumentó la gama de variables para la medida del TR en ordenadores, representando un incremento de error del temporizador de hasta 6.000.000% comparado con el MS-DOS (Brett Myors, 1999); esto hace que el MS-DOS continúe siendo el sistema operativo preferido para los controles experimentales (Archambeault, de Bruin, McComas y Fu, 2006; Brett y Myors, 1999).

Varias configuraciones de *hardware* fueron testeadas para determinar la precisión en la medición del tiempo en el sistema operativo Windows, indicando que existe la posibilidad de desarrollar los *softwares* de forma adecuada (Chambers y Brown, 2003; Ohyanagi y Sengoku, 2010). También es posible utilizar las funciones de tiempo que pueden reducir la ineficacia de las medidas, aun usando programación en Java, que requiere una máquina virtual Java funcionando sobre el Windows (Eichstaedt, 2001).

Plant, Hammond y Whitehouse (2003) desarrollaron un conjunto de *software* especial para validar el rendimiento de cualquier dispositivo para la respuesta de las tareas con tiempo de reacción en ordenadores, respondiendo al resultado del *mouse*, teclado, altavoz, micrófonos o cualquier otros accesorios (Plant, Hammond y Whitehouse, 2002), permitiendo corregir los errores de temporización siempre que fuera posible, aumentando la replicabilidad, y reduciendo la variabilidad (Plant et al., 2004).

Stewart (2006) propone un Button Box para ser utilizado en un PC funcionando bajo Linux y utilizando el puerto paralelo. Afirma ser capaz de medir el tiempo de respuesta con precisión de milisegundos (Stewart, 2006a), el cual puede ser obtenido con un monitor CRT (Stewart, 2006b).

Utilizando el conjunto de *hardware* y *software*, un estudio evaluó seis paneles TFT, dos monitores CRT, tres proyectores multimedia, once *mouses*, cuatro teclados y ocho altavoces, todos generando diferencias significativas entre la mejor y peor medida de tiempo (Plant y Turner, 2009).

A pesar de ser el teclado y *mouse* frecuentemente utilizados en investigaciones que envuelven la medida en el tiempo de reacción, fue demostrado que la precisión de sus medidas es muy baja y que lo mejor es usar accesorios externos que garanticen mayor fidelidad en la medida del tiempo, pues no sufre la influencia del sistema operativo y *hardware* del ordenador (Li et al., 2010). Estos autores desarrollan e implementan un accesorio denominado RTBox para garantizar la precisión de las medidas.

Afirmando ser imposible la medida del tiempo auténtico en ambiente multitarea, como en Windows, McKinney, MacCormac, y Welsh-Bohmer (1999) decidieron utilizar un accesorio externo como base del tiempo para proporcionar los resultados más precisos y fiables, obteniendo una medida de 0.1ms (McKinney et al., 1999).

En un estudio más reciente, un fotosensor fue utilizado para identificar el cambio de luminosidad en la pantalla que, al accionar un relé, éste activa un solenoide posicionado sobre el teclado, activado al presionar una tecla. Este sistema detectó una diferencia de 10ms entre dos teclados utilizados (Neath et al., 2011).

Dufau, Stevens y Grainger (2008) sugirieron un algoritmo para reportar los errores durante la ejecución del software en un ambiente multitarea, como Windows, donde la ejecución del programa es constantemente interrumpido por otros programas que requieren los recursos del sistema operativo, haciendo que la temporización no sea precisa. Sin embargo, ellos afirman que Windows XP permite la configuración de priorizar el programa y los nuevos ordenadores son suficientemente rápidos para lidiar con el tiempo casi perfecto para tal tarea (Dufau, Stevens y Grainger, 2008).

La influencia del sistema operativo en la precisión de las medidas de TR

La precisión del tiempo es una preocupación para la realización de estudios de tiempo de reacción, especialmente para aquellos que utilizan ordenadores que no fueron creados para controlar el tiempo con precisión de milisegundos (Myors, 1998) o el control del tiempo real (Li et al., 2010), sino que para eso requieren un hardware adicional (Xie et al., 2005).

El uso del ordenador en neuropsicología está normalmente asociado con la fiabilidad de la medida, la facilidad de medir la respuesta con precisión, la estandarización en la presentación de

los estímulos, además de la propia posibilidad de generación de estímulos más complejos (Spruyt et al., 2010). Sin embargo, los nuevos sistemas operativos basados en multiprocesadores con multitarea necesitan ser reevaluados cuando se usan para medidas de tiempo.

Para los teclados que utilizan una conexión USB, estos operan con resolución de 125 Hz, o 8ms, superiores a los conectores PS/2 que trabajan en tasas típicas de 60 Hz, o 17ms (Damian, 2010), generando diferencias significativas en su uso, además de ser imprecisos debido a los buffer de teclados y pré-procesamiento, aparte de la baja prioridad de los controladores de teclado del Windows (Spruyt et al., 2010).

Los *mouses* actuales -cuya tecnología puerto serie es la más eficiente- la variación entre ocho diferentes modelos analizados se mostró confiable y consistente para la medición del tiempo, por lo que no debe considerarse muy preocupante (Plant et al., 2003).

Los monitores LCD y TFT no son adecuados, al presentar atrasos significativos para la presentación de estímulos con precisión de milisegundos (Plant et al., 2004), siendo más adecuado el uso de un monitor CRT (Stewart, 2006a).

El análisis demostró que la realización de estudios con tareas de TR en ordenadores necesita verificar la exactitud de sus medidas con mucho cuidado, bajo el riesgo de que todas estas medidas tengan su uso inviable por no corresponder con la respuesta real obtenida por la población investigada.

Los programas de ordenador suministran información importante -normalmente asociadas a la precisión y la regularidad- pero muchas veces el resultado presentado en una

tarea de TR es una simplificación del complejo sistema de funcionamiento cognitivo y motor; la influencia de otros factores necesita ser considerada.

Los resultados apuntados en los estudios que investigaron tanto el sistema operacional como los accesorios para el registro de la respuesta -*mouse* y teclado- indicaron que la precisión en TR es una preocupación constante en la investigación. Y esta preocupación no concluye principalmente si consideramos el software que está siendo ejecutado en un sistema operativo multitarea como es el Windows.

La eficacia en la medida del TR utilizando un ordenador está directamente relacionada al tipo de equipamiento utilizado, a la velocidad de procesamiento, a la calidad del *hardware* utilizado bien como del *software* desenvuelto. De la misma forma, cuando el test es aplicado en el mismo conjunto de *hardware* y *software* para "garantizar" la uniformidad en la medida, existen errores y atrasos que pueden ser generados por la aparición de rutinas paralelas en un sistema operacional multitarea como el Windows, creando la necesidad de un número significativo de mediciones para reducir su impacto.

Por consiguiente, se puede concluir es que el uso de ordenador para la medición del TR debe ser cuidadosamente analizado, pues ya se comprobó que el uso de un accesorio externo permite mayor eficacia en la medición del uso del teclado o "mouse". Eso determina qué tipos de investigaciones deben o no utilizar estos recursos.

EL PROBLEMA DE LA MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REACCIÓN CON EL USO DE SOFTWARE Y HARDWARE: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

PALABRAS CLAVES: Tiempo de Reacción, Computador, Software, Hardware.

RESUMEN: El tiempo de reacción (TR) es una medida sensible y se ha aplicado en la Psicología moderna y la Psicología del Deporte y del Ejercicio. Este estudio tuvo como objetivo identificar los posibles retrasos en la medición del tiempo con el uso de computadoras en la investigación con TR mediante el análisis de la producción científica de los artículos publicados en la base de datos electrónica *Web of Science*® de la *Thomson Reuters Web of Knowledge*®. Los items investigados fueron: tema central del estudio, sistema operacional, lenguaje de programación, accesorios utilizados para registrar la respuesta a los estímulos y el retraso medido en milisegundos. Las publicaciones analizaron los retrasos generados en el uso del monitor CRT/LCD, teclado o ratón, encontrando diferencias significativas. Los sistemas operacionales investigados fueron DOS, Mac, Linux y Windows. Los resultados de los estudios muestran retrasos que varían de 0.0006 a 80ms en los teclados evaluados; de 8 a 52ms en los "mouses"; y de 0.0005 a 68ms en los monitores. A pesar de que el ordenador es bastante utilizado para las mediciones de TR, la fiabilidad de la medida de tiempo está directamente relacionada con las características técnicas de los accesorios utilizados y de la configuración de los sistemas operacionales, concluyéndose que la realización de los estudios en las tareas de TR en el ordenador deben de ser cuidadosamente analizados, una vez que la eficacia de los tiempos de medida está directamente relacionada a los tipos de calidad de los equipamientos utilizados. Además, los sistemas operacionales y software desarrollados, requieren que la investigación con TR considere la demora causada por el recurso utilizado. Puede ser útil para la Psicología del Deporte y del Ejercicio una discusión en torno a la producción de tareas que envuelven la medición del tiempo, los posibles errores que envuelven el uso de software y hardware, así como las soluciones ya encontradas para disminuir su impacto en la medición del tiempo, lo que nos permite sugerir los cuidados necesarios para obtener una medida confiable.

O PROBLEMA DA MEDIÇÃO DO TEMPO DE REACÇÃO COM O USO DE SOFTWARE E HARDWARE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

PALABRAS CLAVES: Tempo de Reacção, Computador, Software, Hardware.

RESUMO: O tempo de reacção (TR) é uma medida sensível e tem sido aplicada na Psicologia moderna e na Psicologia do Desporto e do Exercício. Este estudo teve como objectivo identificar os possíveis atrasos na mediação do tempo com o recurso a computadores na investigação com TR mediante a análise da produção científica dos artigos publicadas na base de dados electrónica *Web of Science*® da *Thomson Reuters Web of Knowledge*®. Os itens investigados foram: tema central da estudo, sistema operacional, linguagem de programação, acessórios utilizados para registar a resposta aos estímulos e o atraso medido em milisegundos. As publicações analisaram os atrasos gerados no uso do monitor CRT/LCD, teclado ou rato, encontrando diferenças significativas. Os sistemas operativos investigados foram DOS, Mac, Linux e Windows. Os resultados dos estudos revelam atrasos que variam de 0.0006 a 80ms nos teclados avaliados; de 8 a 52 ms nos ratos; e de 0.0005 a 68ms nos monitores. Apesar do computador ser bastante utilizado para as medições de TR, a fidelidade da medida de tempo está directamente relacionada com as características técnicas dos acessórios utilizados e da configuração dos sistemas operativos, concluindo-se que a realização dos estudos em tarefas de TR no computador devem ser cuidadosamente analisados, uma vez que a eficácia dos tempos de medida está directamente relacionada com os tipos de qualidade dos equipamentos utilizados. Adicionalmente, os sistemas operativos e o software desenvolvidos, requerem que a investigação com TR considere a demora causada pelo recurso utilizado. Pode ser útil para a Psicologia do Desporto e do Exercício uma discussão em torno do delineamento de tarefas que envolvam a medição do tempo, os possíveis erros que envolvem o uso de software e hardware, assim como as soluções já encontradas para diminuir o seu impacto na medição do tempo, o que nos permite sugerir os cuidados necessários para obter uma medida fiável.

Referencias

- Archambeault, M., de Bruin, H., McComas, A. y Fu, W. (2006). Tendon reflexes elicited using a computer controlled linear motor tendon hammer. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 1, 5068-5071.
- Beaumont, J. G. (1981). Microcomputer-aided assessment using standard psychometric procedures. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 13(4), 430-433.
- Beaumont, J. G. (1982). System requirements for interactive testing. *International Journal of Man-Machine Studies*, 17(3), 311-320.
- Beaumont, J. G. (1985a). Speed of response using keyboard and screen-based microcomputer response media. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23(1), 61-70.
- Beaumont, J. G. (1985b). The effect of microcomputer presentation and response medium on digit span performance. *International Journal of Man-Machine Studies*, 22(1), 11-18.
- Beringer, J. (1992). Timing accuracy of mouse response registration on the IBM microcomputer family. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 24(3), 486-490.
- Bovens, N. y Brysbaert, M. (1990). IBM PC/XT/AT and PS/2 Turbo Pascal timing with extended resolution. *Behavior Research Methods*, 22(3), 332-334.
- Brysbaert, M., Bovens, N., d'Ydewalle, G. y Van Calster, J. (1989). Turbo Pascal timing routines for the IBM microcomputer family. *Behavior Research Methods*, 21(1), 73-83.
- Cernich, A. N., Brennana, D. M., Barker, L. M. y Bleiberg, J. (2007). Sources of error in computerized neuropsychological assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22, Supplement 1(0), 39-48.
- Chambers, C. D. y Brown, M. (2003). Timing accuracy under Microsoft Windows revealed through external chronometry. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 35(1), 96-108.
- Coppel, D. B. (2011). Use of Neuropsychological Evaluations. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 22(4), 653-664.
- Damian, M. F. (2010). Does variability in human performance outweigh imprecision in response devices such as computer keyboards? *Behavior Research Methods*, 42(1), 205-211.
- De Clercq, A., Crombez, G., Buysse, A. y Roeyers, H. (2003). A simple and sensitive method to measure timing accuracy. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 35(1), 109-115.
- Deary, I. J., Liewald, D. y Nissan, J. (2011). A free, easy-to-use, computer-based simple and four-choice reaction time programme: The Deary-Liewald reaction time task. *Behavior Research Methods*, 43(1), 258-268.
- Dlhopolsky, J. (1988). C language functions for millisecond timing on the IBM PC. *Behavior Research Methods*, 20(6), 560-565.
- Dufau, S., Stevens, M. y Grainger, J. (2008). Windows executable software for the progressive demasking task. *Behavior Research Methods*, 40(1), 33-37.
- Eichstaedt, J. (2001). An inaccurate-timing filter for reaction time measurement by JAVA applets implementing Internet-based experiments. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 33(2), 179-186.
- Erickson, G. B., Citek, K., Cove, M., Wilczek, J., Linster, C., Bjarnason, B. y Langemo, N. (2011). Reliability of a computer-based system for measuring visual performance skills. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*, 82(9), 528-542.
- Fernandez-Rios, L. y Buela-Casal, G. (2009). Standards for the preparation and writing of Psychology review articles. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 9(2), 329-345.
- Forster, K. y Forster, J. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods*, 35(1), 116-124.
- Hamm, J. P. (2001). Object-oriented millisecond timers for the PC. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 33(4), 532-539.
- Keller, F., Gunasekharan, S., Mayo, N. y Corley, M. (2009). Timing accuracy of Web experiments: A case study using the WebExp software package. *Behavior Research Methods*, 41(1), 1-12.
- Klapp, S. T. (2003). Reaction time analysis of two types of motor preparation for speech articulation: Action as a sequence of chunks. *Journal of Motor Behavior*, 35(2), 135-150.
- Li, X., Liang, Z., Kleiner, M. y Lu, Z.-L. (2010). RTbox: A device for highly accurate response time measurements. *Behavior Research Methods*, 42(1), 212-225.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *British Medical Journal*, 339.
- Lincoln, C. E. y Lane, D. M. (1980). Reaction-Time measurement errors resulting from the use of CRT displays. *Behavior Research Methods & Instrumentation*, 12(1), 55-57.
- MacInnes, W. J. y Taylor, T. L. (2001). Millisecond timing on PCs and Macs. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 33(2), 174-178.
- Mates, J. y Goldenberg, G. (1994). A program for measuring timing and accuracy in a complex motor reaction task. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 42(2), 141-146.
- McKinney, C. J., MacCormac, E. R. y Welsh-Bohmer, K. A. (1999). Hardware and software for tachistoscopy: How to make accurate measurements on any PC utilizing the Microsoft Windows operating system. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 31(1), 129-136.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. y Grp, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *British Medical Journal*, 339.
- Myors, B. (1998). A simple graphical technique for assessing timer accuracy of computer systems. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 30(3), 454-456.
- Myors, B. (1999). Timing accuracy of PC programs running under DOS and Windows. *Behavior Research Methods*, 31(2), 322-328.
- Neath, I., Earle, A., Hallett, D. y Surprenant, A. M. (2011). Response time accuracy in Apple Macintosh computers. *Behavior Research Methods*, 43(2), 353-362.
- New, J. (2012). History of Psychology Collection - Reaction Time Apparatus. 2012
- Ohyanagi, T. y Sengoku, Y. (2010). A solution for measuring accurate reaction time to visual stimuli realized with a programmable microcontroller. *Behavior Research Methods*, 42(1).
- Perera, T. B. y Haupt, E. J. (2012). Museum of the History os Reaction Time Research. Retrieved 12 apr., 2012, from <http://www.chss.montclair.edu/psychology/museum/mrt.htm>

- Plant, R. R., Hammond, N. y Turner, G. (2004). Self-validating presentation and response timing in cognitive paradigms: How and why? *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 36(2), 291-303.
- Plant, R. R., Hammond, N. y Whitehouse, T. (2002). Toward an experimental timing standards lab: Benchmarking precision in the real world. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 34(2), 218-226.
- Plant, R. R., Hammond, N. y Whitehouse, T. (2003). How choice of mouse may affect response timing in psychological studies. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 35(2), 276-284.
- Plant, R. R. y Turner, G. (2009). Millisecond precision psychological research in a world of commodity computers: New hardware, new problems? *Behavior Research Methods*, 41(3), 598-614.
- Reimers, S. y Stewart, N. (2007). Adobe Flash as a medium for online experimentation: A test of reaction time measurement capabilities. *Behavior Research Methods*, 39(3), 365-370.
- Sampaio, R. F. y Mancini, M. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Rev. Bras. Fisioter.*, 11(1), 83-89.
- Schaffer, S. (1988). Astronomers Mark Time: Discipline and the Personal Equation. *Science in Context*, 2, 115-145.
- Segalowitz, S. J. y Graves, R. E. (1990). Suitability of the IBM-XT, AT, and PS/2 keyboard, mouse, and game port as response devices in reaction-time paradigms. *Behavior Research Methods Instruments & Computers*, 22(3), 283-289.
- Silverman, I. W. (2006). Sex differences in simple visual reaction time: A historical meta-analysis. *Sex Roles*, 54(1-2), 57-68.
- Silverman, I. W. (2010). Simple reaction time: It is not what it used to be. *American Journal of Psychology*, 123(1), 39-50.
- Spruyt, A., Clarysse, J., Vansteenwegen, D., Baeyens, F. y Hermans, D. (2010). Affect 4.0 A Free Software Package for Implementing Psychological and Psychophysiological Experiments. *Experimental Psychology*, 57(1), 36-45.
- Stewart, N. (2006a). A PC parallel port button box provides millisecond response time accuracy under Linux. *Behavior Research Methods*, 38(1), 170-173.
- Stewart, N. (2006b). Millisecond accuracy video display using OpenGL under Linux. *Behavior Research Methods*, 38(1), 142-145.
- Vanz, S. A. d. S. y Caregnato, S. E. (2003). Estudos de Citação: uma ferramenta para entender a comunicação científica. *Em Questão*, 9(2), 295-307.
- Warner, C. y Martin, M. (1999). eXpTools: A C++ class library for animation, tachistoscopic presentation, and response timing. *Behavior Research Methods*, 31(3), 387-399.
- Xie, S., Yang, Y., Yang, Z. y He, J. (2005). Millisecond-accurate synchronization of visual stimulus displays for cognitive research. *Behav Res Methods*, 37(2), 373-378.
- Zajdel, R. y Nowak, D. (2007). Simple and complex reaction time measurement. A preliminary evaluation of new approach and diagnostic tool. *Computers in Biology and Medicine*, 37(12), 1724-1730.