

A hipótese da invariância de Cavanagh: a nova perspectiva !

Klaus-Martin Klein (Universidade de Siegen, Alemanha)

Introdução:

As hipóteses de invariância alegam que um dado valor – p.ex., o produto ou a soma de pelo menos dois parâmetros – permanecem constantes sob diferentes condições experimentais - p.ex., pela variação do tipo de material ou do tempo de apresentação dos estímulos.

Assim, a "hipótese do tempo total de aprendizagem" ([14],[3]) prevê que o tempo total de aprendizagem em relação a um tipo de material permanece constante, independente da divisão de tempo das sessões de aprendizagem. Um exemplo: se o tempo de apresentação é de 10 s e a quantidade de sessões é de 10 até alcançar o critério, o tempo total de aprendizagem será de 60 s. Pode-se, portanto, prever que, se o tempo for realmente usado na aprendizagem, ao mudar o tempo de apresentação para 5 s, a quantidade de sessões será 12, com um tempo de apresentação de 20 s a quantidade de sessões será 3, e assim por diante (cf. também: [5],[6],[7]).

Em geral: As hipóteses de invariância servem para integrar fenômenos até então isolados numa teoria super-ordenada, de modo que, conhecendo-se determinados resultados num paradigma experimental, podem-se prever determinados padrões de resultados em um outro paradigma experimental.

„A importância principal das invariantes está no seu poder de strip away a amplitude de fenômenos e em revelar a simplicidade e a ordem subjacente. Invariantes, no entanto, não apenas oferecem explicações para fenômenos cognitivos simples, mas são também necessários à explicação de fenômenos mais complexos do pensamento e de solução de problemas.“ (Simon, 1974:486)

A seguir, quero deixar clara a importância as hipóteses de invariância no âmbito da psicologia da memória e da aprendizagem, a partir do exemplo da hipótese apresentada por Cavanagh no ano de 1972, aqui referida como Hipótese de Cavanagh [13]:

A Hipótese de Cavanagh (HC) diz que o produto do alcance de memória (AM) e o tempo de busca no paradigma de Sternberg é constante para diferentes tipos de materiais de estímulo. Por trás da HC está o modelo modular de memória de Atkinson & Shiffrin ([1]) - constituído de a) uma *Memória sensorial*, b) uma *Memória de curta duração (MCD)* de duração e capacidade limitadas, e c) uma *Memória de longa duração (MLD)* com capacidade e duração quase que ilimitadas ([2],[3]).

A Hipótese de Cavanagh:

Em 1972, Cavanagh [13] publicou uma „meta-análise“ de dados encontrados por ele na literatura sobre AM e tempo de busca no paradigma de Sternberg, a partir de experimentos cujos tipos de materiais de estímulo incluíam números, palavras, letras, cores, sílabas „sem sentido“ e figuras geométricas. Cavanagh descobriu que há uma relação linear entre os valores médios de AM e o tempo médio de busca por item, de modo que um maior AM corresponde a um tempo de busca mais rápido no paradigma de Sternberg. Uma análise linear de regressão sobre os dados esclarece mais de 99.5 % da variância, o segmento das ordenadas não é estatisticamente significativo com 2.8 msec, e o ângulo de ascendência da linha de regressão (C, a „constante de Cavanagh“) corresponde a 243.2 msec; C avalia a duração necessária para percorrer um conjunto de memorização completo (figura 1).

A correspondência descrita é, em princípio, apenas formal e apresento a seguir uma abordagem de interpretação, com a qual o próprio Cavanagh explica essa relação: cada estímulo é formado por um conjunto de características; mas a *MCD* só pode manter uma quantidade determinada (T) de tais características, por causa de sua capacidade limitada.

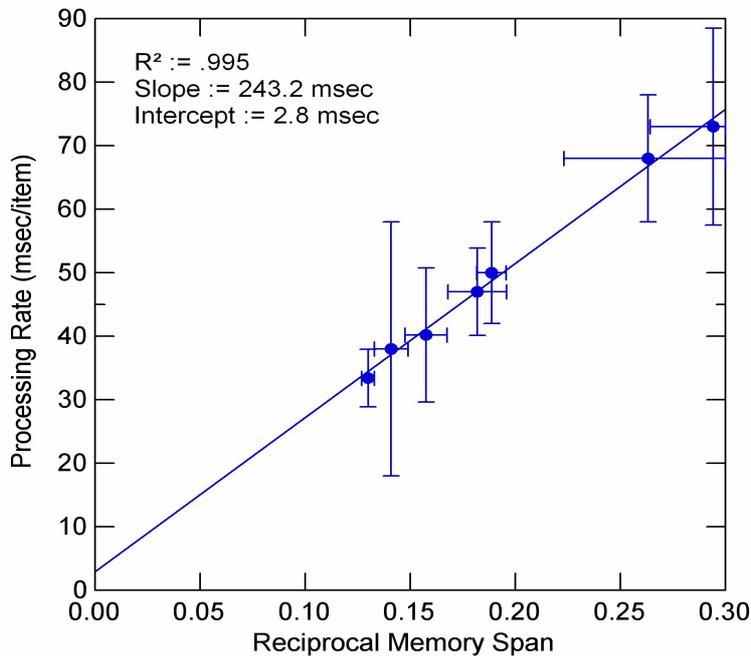


Figura 1: A relação linear entre os valores médios de alcance de memória (AM^1) e o tempo médio de busca por item no paradigma de Sternberg (Cavanagh 1972)

Cada estímulo de uma classe de estímulos c - números, letras etc.- compreende uma certa quantidade dessas características m_c . A quantidade de itens de uma classe c , que podem ser mantidos na *MCD* - g_c - depende portanto da quantidade de características por item dessa classe de estímulos; o melhor preditor disso é o alcance de memória. Assim, quanto maior for a quantidade média de características por estímulos, menor será a quantidade de itens na *MCD*. Em consequência,

$$[1] \quad g_c * m_c := T \quad \text{ou seja}$$

$$[2] \quad m_c := T / g_c$$

É significativo o pressuposto de Cavanagh, de que a comparação dos itens de teste com os itens da carga de memória (*memory-load* [m]) durante a exploração se dê no nível das características, sendo para isso necessária quantia Betrag (t) constante de tempo para cada comparação de característica. Assim, o tempo de comparação por item (s) é proporcional à quantidade de características por item:

$$[3] \quad s_c := m_c * t$$

Como m pode ser substituído por T/g_c , temos

$$[4] \quad s_c := (T / g_c) * t,$$

e assim, o tempo de busca por item no paradigma de Sternberg é proporcional ao alcance de memória recíproco.

Em resumo, o tempo total C pode ser descrito como

$$[5] \quad C := g_c * m_c * t \quad \text{ou seja}$$

$$[6] \quad C := g_c * s_c$$

De acordo com Cavanagh ([13]), C é uma constante.

Tanto m , a quantidade de características médias de um item de uma classe de estímulos, quanto t , o tempo necessário para uma comparação de características, são desconhecidos.

Para identificar os parâmetros m e t :

Nos anos 80 e 90, Hans-Georg Geissler ([17], [18]) analisou uma quantidade de estudos, principalmente de autores russos, sobre efeitos visuais de mascaramento e estimou t em 9.13 msec. Independente de Geissler, Bredenkamp ([6]) chegou a resultados muito parecidos, com base em re-análises de diferentes dados recolhidos por Martina Puffe ([31],[32]) com o paradigma de Okada ([29],[12]). Isto quer dizer que há evidência empírica, com base em uma grande quantidade de estudos, de que t seja por volta de 9.13 msec. Desse modo, Cavanagh deveria ter estimado o tempo necessário à comparação das características em pelo menos $t := 9.13$ msec ou então remeter a um de seus múltiplos inteiros. Não se pode deixar de dizer que novas estimativas apontam para t num valor de 4.565 msec; isso se fundamenta no fato de que 4.565 msec pode ser considerado como o maior divisor comum de todos os dados já publicados (Geissler ([19],[20])) e, por outro lado, já parecem ter surgido indicações para $t := 4.565$ msec com base em estudos experimentais (Bredenkamp, Nov. 1999, comunicação pessoal). Com isso, o valor até agora largamente citado de 9.13 msec não seria uma estimativa de t , mas de $2t$. Voltaremos a isso depois.

E como se interpreta m ? A abordagem interpretativa que se prefere aqui parte do princípio de que m - a quantidade média de características analisadas por item - corresponde a carga estatística de informações de um item em bit; uma justificativa mais abrangente para esse pressuposto pode ser encontrada em Bredenkamp ([6]) e Bredenkamp & Klein ([7]). A abordagem interpretativa aqui apresentada tem a vantagem de ser empiricamente comprovável e aplicável a grande quantidade dos mais diversos tipos de materiais de estímulo (números, palavras, cores etc.), e até, no caso de material verbalizável, independentemente do modo de apresentação (acústico versus visual).

Resumindo o que dissemos até agora: C é o produto do tempo de busca por item no paradigma de Sternberg vezes GS , enquanto s pode ser encarado como o produto de m - a carga estatística de informações por item em bit e $t := 9.13$ msec. Essa abordagem interpretativa, no entanto, implica ainda na possibilidade de que um participante possa aproveitar seus recursos (C) otimamente ou nem tanto: quanto mais distante um ponto na linha C estiver da origem das coordenadas, tanto mais características terão de ser analisadas, tendo como conseqüência um menor alcance de memória.

A seguir, apresentam-se dois exemplos de utilização dessa abordagem interpretativa.

Exemplo 1:

Estudos sobre a psicologia da memória de um artista dos números

No final dos anos 80, examinamos (Bredenkamp, Klein, von Hayn & Vaterrodt [8]) extensamente um jovem artista dos números (AN) de nome Gert Mittring.

Gert Mittring, um estudante de Informática, desenvolveu desde os seus cinco anos de idade um interesse forte e freqüentemente também emocional para tudo o que estivesse relacionado a números, fossem eles datas de aniversário, números de telefone, placas de carro, balanços ecológicos etc.

Dentre suas artes mais especiais estava extrair a raiz à 137ª potência de um número aleatório de 1000 algarismos, tarefa que ele realizava em ~47s, isto é 13.3 s mais rápido do que os computadores pessoais existentes na época.

Logo ficou claro que a) seu desempenho - resultado de uma vida inteira de trabalho com números - poderia ser plenamente explicado pelas leis da Psicologia cognitiva experimental e b) seus cálculos eram na maioria das vezes corretos, mas nem sempre. Os erros existentes poderiam ser remetidos a erros de processamento na memória de trabalho, motivo porque realizamos uma avaliação detalhada da a memória de trabalho do artista. Reproduzimos aqui apenas alguns resultados relevantes para a discussão da HC:

Paradigma de Sternberg:

As estimativas de seu tempo de comparação utilizando números como material são bem menores do que de outros sujeitos. Pode-se dar claramente uma resposta negativa à questão de se o processamento do artista de números é paralela ao invés de serial.

Equações de regressão, material: dígitos (*ml* = *memory-load*):

$$\text{Artista de números} \quad t := 333.85 + 27.09 * ml$$

$$\text{Outros sujeitos} \quad t := 506.44 + 50.68 * ml$$

Os tempos muito rápidos de comparação de dígitos aparentemente se restringem a esse tipo específico de estímulo, já que o artista de números demonstrou um coeficiente “normal” de regressão tendo letras como material.

Equações de regressão, material: letras

$$\text{Artista de números} \quad t := 371.71 + 45.80 * ml$$

$$\text{Outros sujeitos} \quad t := 453.18 + 41.54 * ml$$

Alcance de memória:

O alcance de memória do artista de números foi intensamente investigado com diversos períodos de dígitos (p.ex., 0-7, 0-15, 0-31,..., 0-1023) e letras. O alcance de memória do artista para números corresponde a 17.65, independentemente do tipo de número! Desse modo, o alcance é 2.5 vezes maior do que o alcance de memória dos outros sujeitos analisados.

O alcance de memória para letras é muito menor (~8.5), sendo comparável ao dos outros sujeitos (~9). Aparentemente, um alcance extraordinariamente alto de memória para números *não* pode ser remetido a uma maior capacidade de memória de curta duração em geral, já que o alcance de memória para letras é muito menor.

Integração dos resultados:

Com base nos resultados encontrados nesses dois paradigmas, há evidências de que, no caso do artista de números, existam duas constantes C independentes uma da outra. A primeira - para letras - com 389 msec, é comparável à dos outros sujeitos analisados (374 msec). Encontra-se no artista também uma constante C para dígitos, no valor de 478 msec, cerca de um terço mais alta do que a dos outros sujeitos (355 msec) (ver também [31], [32]).

Voltemos às interpretações dadas para as variáveis t e m , segundo as quais t pode ser interpretado como uma unidade de tempo no valor de 9.13 msec e m como quantidade informação de itens em bit. Se nossa interpretação for correta e o artista de números processar otimamente a informação, surgiria como resultado um tempo de busca por item de cerca de 30 msec no paradigma de Sternberg para dígitos *decimais* (3.32 bit) - e seu tempo de busca corresponde a 27 msec!

Se o valor de C calculado para o artista for correto, o alcance de memória também poderia ser previsto para números binários (1 bit), que também analisamos, já que o alcance de memória corresponde ao valor de C/t . Dessa maneira, alcançamos uma estimativa do alcance de memória de 52.35 itens, enquanto que o alcance realmente medido foi de 52.17 itens.

Exemplo 2:

Treinamento em Alcance de Memória e Paradigma de Sternberg

O artista de números representa um caso, cujos recursos aumentados, específicos ao material, podem ser remetidos a um treinamento de toda uma vida, baseado no trato com problemas matemáticos.

Ao considerarmos estudos empíricos de treinamento (com dígitos) no paradigma do alcance imediato de memória, podemos diferenciar três grupos distintos de sujeitos com diferentes padrões de resultados. Num grupo estão os sujeitos que *não* podem usar estratégias de *chunking*; o limite máximo visado com base no treinamento corresponde a um alcance de memória por volta de 13 itens ([13], ver também [6, S.374]). O segundo grupo representa artistas de números e de memória, em que a "fase de treinamento" situa-se *antes* do início do estudo; seu alcance de memória contém cerca de 17-20 itens, embora este desempenho freqüentemente possa (p.ex., por meio de *chunking*) ser ainda maior (ver [25],[8]). No terceiro grupo, não se trata mais propriamente de um treinamento do alcance de memória no âmbito da memória de curta duração, uma vez que os sujeitos lançam mão de estratégias de memória de longa duração ([16]); até hoje observaram-se „alcances de memória“ de até quase 80 números.

Muito raros são os estudos de treinamento de tempo de busca no paradigma de Sternberg; os resultados visados são também muito diferentes: alguns estudos não relatam nenhum efeito de treinamento (um deles ([28]) aliás erroneamente!), outras investigações ([9],[11]) relatam resultados finais na casa dos 10 msec e 8.4 msec, respectivamente, após um período de treinamento de cerca de respectivamente 12 e 15 dias, embora os paradigmas experimentais utilizados não sejam Sternberg „puros“. Contudo, os valores relatados, de ≤ 10 msec, não podem deixar de ser vistos como muito próximos ao quantum de Geissler, de 9.13 msec, ou seja, exatamente o tempo necessário para uma comparação de características.

No que diz respeito à hipótese de Cavanagh, colocam-se algumas questões importantes: existe um limite máximo de alcance de memória que não possa ser superado por sujeitos que não façam uso de estratégias de *chunking*? O treinamento extensivo no paradigma de Sternberg poderia levar a tempos

de busca ainda mais rápidos ou até a uma mudança qualitativa do processamento de informação (p.ex., de serial a paralela)? Será que uma melhoria do alcance de memória leva a melhorias do tempo de busca e vice-versa? Será que por causa do treinamento se poderia chegar a um colapso da relação de Cavanagh?

Para responder a essas perguntas, 2 sujeitos foram treinados no paradigma do alcance de memória e 2 no paradigma de Sternberg por um período de 80 dias úteis ([22]). No caso do treinamento em Sternberg, trata-se, segundo saiba, do mais longo período de treinamento já realizado. Ao início e fim do treinamento, os sujeitos realizaram uma bateria de procedimentos experimentais, não apenas no âmbito da memória de curta duração.

Paradigma do alcance de memória:

Ambos os sujeitos sabiam da possibilidade de criar *chunkings*, mas não podiam utilizar a técnica, pois ela se mostrou muito cansativa e levava a muitos erros. Além do mais, para eles havia uma outra estratégia mais eficaz, a da reprodução rítmica, um resultado já relatado por Mueller & Schumann em 1894 como uma forma anterior ao *chunking*.

Ambos os sujeitos mostraram clara melhoria do alcance de memória ao fim do treinamento e visaram um máximo de 12.7 e 13.5 itens, respectivamente (figura 2). Além disso, durante o treinamento observaram-se grandes oscilações locais, que podem ser remetidos em parte a problemas de motivação, e em parte a tentativas de mudança de estratégia. Um melhoria para além de um limite máximo acima dos 13 itens parece não ser possível.

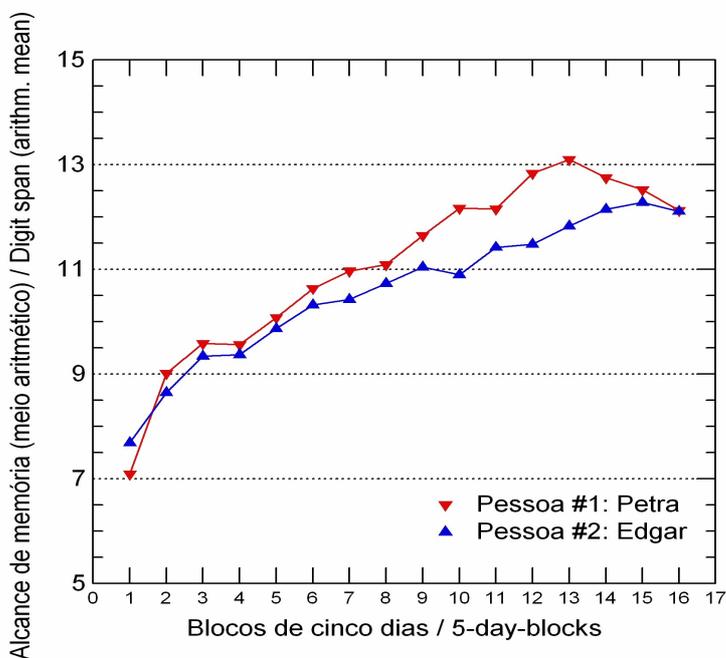


Figura 2: Efeitos do treinamento (80 dias) no paradigma de alcance de memória (estímulo: dígitos).

Paradigma de Sternberg:

Os sujeitos mostraram também melhorias claras da velocidade de busca por item ao final do treinamento, em comparação com o início, e também se puderam observar fortes oscilações locais. Ao final, não se pôde constatar mudança qualitativa (de processamento serial a paralelo), e os tempos de busca estão por volta de 9 msec e 18 msec, respectivamente (figura 3). No âmbito da abordagem interpretativa aqui apresentada, o tempo necessário à comparação de 1 item corresponde a t msec ou a um múltiplo inteiro de t , e t é igualado a 9.13 msec. No âmbito desse modelo, tempos de busca mais rápidos nem sequer são possíveis (a não ser que se escolha para t o valor de 4.565 msec). Treinamento da memória de curta duração, no âmbito dessa teoria, não significa mais do que redução de características!

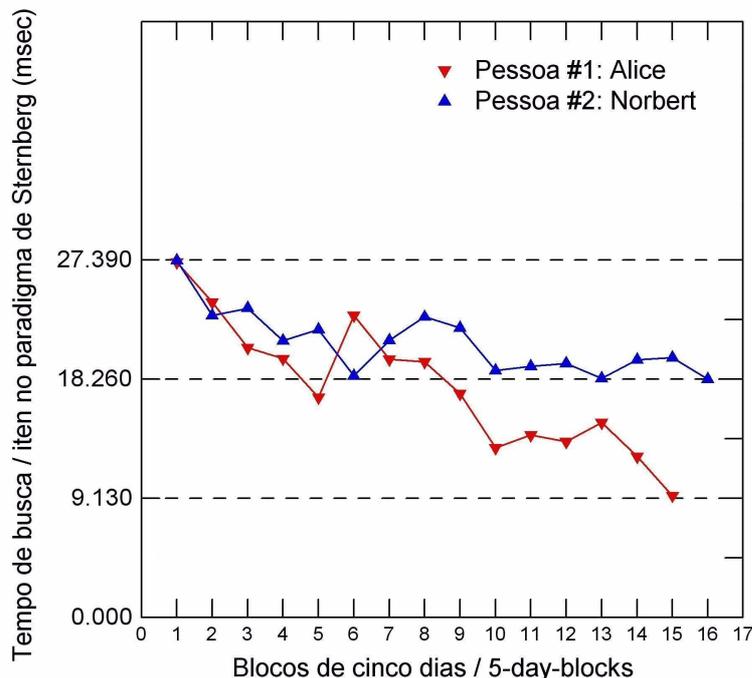


Figura 3: Efeitos do treinamento (80 dias) no paradigma de Sternberg (estímulo: dígitos). As marcas da ordinata mostram múltiplos inteiros de $t = 9.13$ msec.

Embora, do meu ponto de vista, um série de motivos não apenas metodológicos sejam contrários a $t := 4.565$ msec e a favor de $t := 9.13$ msec, transformei os dados para exploração, com $t := 4.565$ msec e todos os múltiplos inteiros desse valor igualados a 0, de tal maneira que os valores empíricos de ambos os sujeitos possam ser vistos como desvios dessa linha. Esses desvios não são estatisticamente significantes (figura 4a e figura 4b).

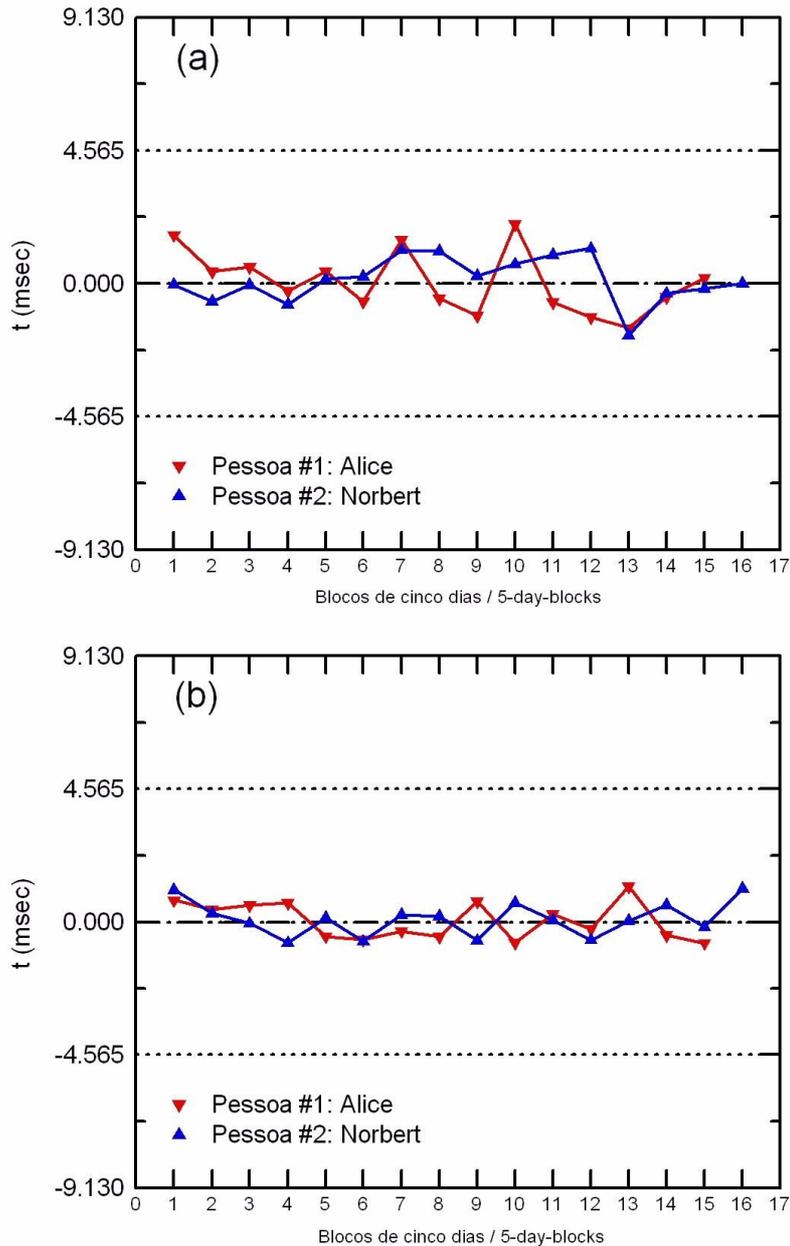


Figura 4:

a) Diferenças entre os tempos de buscas individuais no paradigma de Sternberg e o múltiplo inteiro de 9.13 msec mais pequeno (aqui: $t=0.0$ msec). As desvios não são estatisticamente significantes.

(Sujeito #1, Alice: estatística de $t_{(\alpha=.05, df=73)} := 0.115$ $p=.909$;

Sujeito #2, Norbert: estatística de $t_{(\alpha=.05, df=77)} := 0.513$ $p=.609$)

b) Diferenças entre os tempos de buscas individuais no paradigma de Sternberg e o múltiplo inteiro de 4.565 msec mais pequeno (aqui: $t=0.0$ msec). As desvios não são estatisticamente significantes.

(Sujeito #1, Alice: estatística de $t_{(\alpha=.05, df=73)} := 0.224$ $p=.823$;

Sujeito #2, Norbert: estatística de $t_{(\alpha=.05, df=77)} := 0.473$ $p=.637$)

Finalmente, consideremos ainda a questão sobre como o treinamento em um paradigma poderia influenciar o outro paradigma. As figuras 5 (paradigma de alcance de memória) e 6 (paradigma de Sternberg) mostram que os sujeitos lucram com relação a todos os dados coletados.

Klaus-Martin Klein: A hipótese da invariância de Cavanagh: a nova perspectiva!

No entanto, a disposição desse experimento não permite diferenciar entre efeitos de warming-up e os do treinamento propriamente dito. Com relação à hipótese de Cavanagh, todos os resultados tendem na direção teoricamente esperada, e 2 sujeitos (um em cada paradigma) têm seus dados empíricos correspondendo muito bem à relação de Cavanagh.

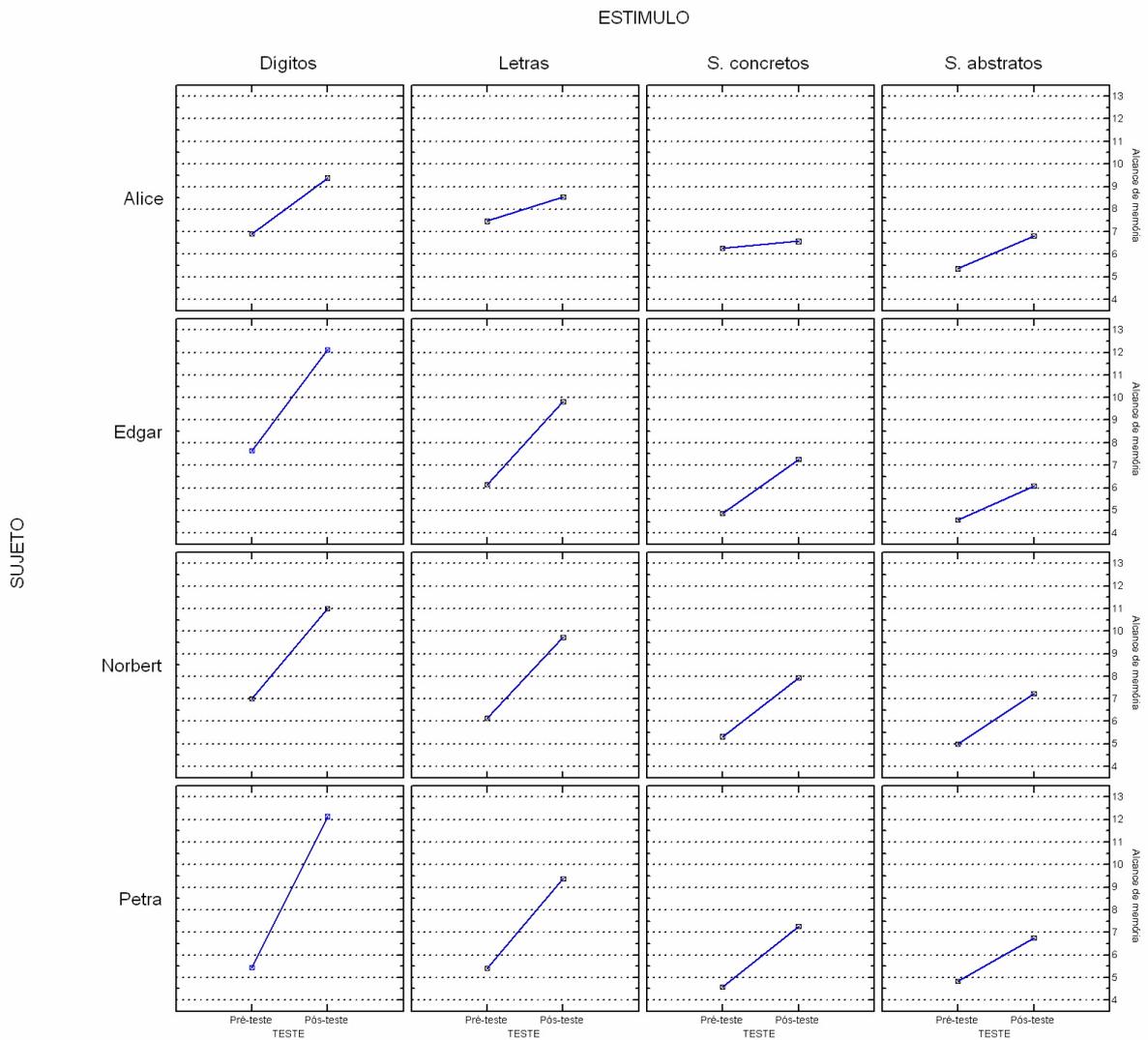


Figura 5: Paradigma de alcance de memória - efeitos do treinamento de 80 dias em memória de curta duração (comparação pré/pós com os estímulos „digitos“ (0 até 9), „letras“ (10 consonantes), 10 substantivos concretos e 10 substantivos abstratos). Os sujeitos Petra e Edgar tinham um 80-dias-treinamento no paradigma de alcance de memória (estímulo: digitos), os sujeitos Alice e Norbert tinham um 80-dias-treinamento no paradigma de Sternberg (estímulo: digitos). O efeito de treinamento é muito grande pelo o estímulo „digitos“ (todos sujeitos tinham um treinamento com digitos) e também grande pelo o estímulo „letras“.

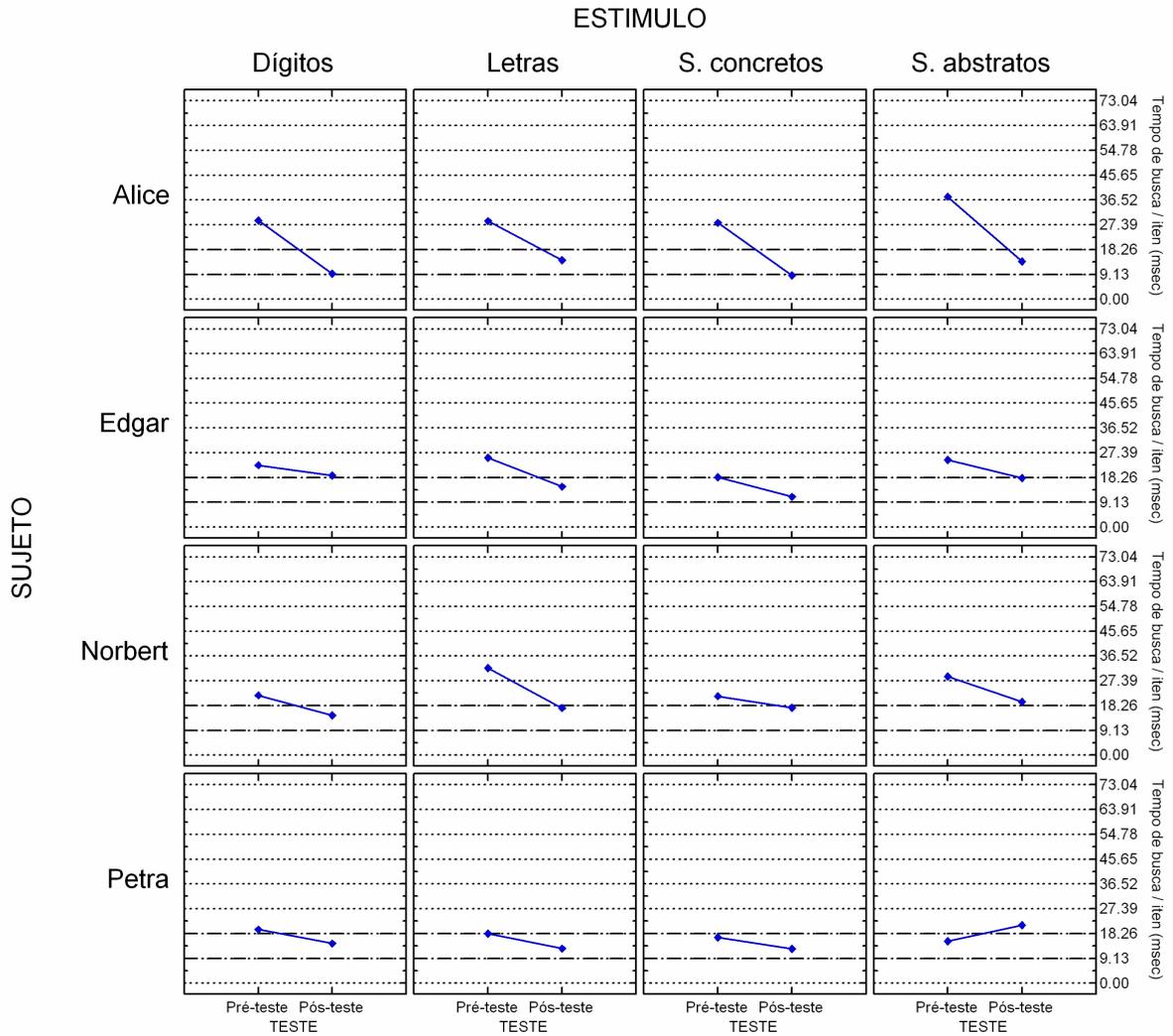


Figura 6: Paradigma de Sternberg - efeitos do treinamento de 80 dias em memória de curta duração (comparação pré/pós com os estímulos „dígitos“ (0 até 9), „letras“ (10 consoantes), 10 substantivos concretos e 10 substantivos abstratos). Os sujeitos Petra e Edgar tinham um 80-dias-treinamento no paradigma de alcance de memória (estímulo: dígitos), os sujeitos Alice e Norbert tinham um 80-dias-treinamento no paradigma de Sternberg (estímulo: dígitos).

Perspectivas

Apresentam-se aqui algumas perspectivas para experimentos futuros. Um questionamento importante diz respeito à validade simultânea da hipótese de Cavanagh e de uma outra, a saber, a hipótese de invariância que se pode deduzir do modelo de a memória de trabalho de Baddeley (mais especificamente: o efeito de comprimento de palavra). Segundo essa hipótese, o rastro de memória (B) é constante, como produto do tempo de articulação vezes alcance de memória. A comprovação de ambas as teorias exige um procedimento muito mais rigoroso, que ao mesmo tempo permita diferenças individuais (Bredenkamp 1993). Uma comprovação tendencial pode ser encontrada em Klein (1995). Comprovação contrária pode ser vista no estudo de Bredenkamp & Klein (1998), em que os autores incluíram ainda outras duas hipóteses de invariância da psicologia da memória e da aprendizagem, a saber, a hipótese modificada do tempo total de aprendizagem e a hipótese de Nevelski, de um alcance constante de memória de longa duração. Especialmente para esse estudo, desenvolveu-se um material de item que pode ser manipulado quanto à carga de informação, sem que a manipulação afete outras características.

O conjunto de hipóteses aqui apresentado lança ainda outras questões, como por exemplo que relação pode haver entre a hipótese de Cavanagh e a de Baddeley, aqui apenas esboçada: são ambas independentemente válidas? Será que a hipótese de Cavanagh representa um modelo superordenado à de Baddeley? E assim por diante.

Outras questões dizem respeito por exemplo à possibilidade de treinamento da velocidade de articulação e sua influência sobre o alcance de memória e tempo de busca, ou ainda a questão da influência de características redundantes sobre os parâmetros do conjunto de hipóteses aqui apresentado.

E, finalmente, temos ainda a inclusão de outras possíveis, como por exemplo aquela, segundo a qual a velocidade de articulação e, com isso, o alcance de memória podem ser compreendidos como função da idade (ver Hulme, Thomson Muir & Lawrence 1984).

Observações

Alcance de memória

Por alcance de memória compreende-se a quantidade de itens reproduzidos na ordem correta em 50% dos casos. O alcance de memória vale como indicador da capacidade da memória de curta duração. Em adultos normalmente inteligentes, o alcance de memória para números decimais (os números entre 0 e 9) está por volta de 7 ± 2 dígitos (ver Watkins 1977, S. 529; Dempster 1981, S. 65; Miller 1956)

Paradigma de Sternberg (memory scanning)

No paradigma de Sternberg, os sujeitos têm a tarefa de decidir o mais rapidamente possível se um item apresentado após uma seqüência de itens pertence ou não à seqüência. A seqüência de itens varia de tamanho, mas nunca ultrapassa o alcance de memória - como estimativa da capacidade da memória de curta duração. Ocorre portanto a comparação do item de teste com as informações mantidas na memória de curta duração. Com auxílio desse paradigma é possível avaliar com que velocidade os processos de comparação ocorrem na memória de curta duração. Esses tempos de comparação dependem do tipo de material usado para os itens (por exemplo, dígitos ou palavras). O tempo de comparação de dígitos por adultos normalmente inteligentes é de cerca de 40 msec, em média, para cada dígito; para palavras, cerca de 50 msec por palavra. O paradigma experimental é disposto de tal maneira que além do tempo de comparação se pode ter ainda estimativas da duração da resposta psicomotora. Com isso se podem fazer afirmações sobre se os processos de comparação ocorrem na memória de curta duração de modo serial ou paralelo, erschöpfend oder selbstterminierend. (Vgl. Sternberg 1966, 1969)

Literatura

- [1] **Atkinson, R. C. & Shiffrin, R. M.** (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol 2 (pp. 89-195). New York: Academic Press.
- [2] **Baddeley, A.** (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon Press.
- [3] **Baddeley, A.** (1997). *Human memory: Theory and practice*. Hove: Erlbaum.
- [4] **Baddeley, A. D. & Thomson, N. & Buchanan, M.** (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575-589.
- [5] **Bredenkamp, J.** (1975). Die modifizierte Invarianzhypothese und die Hypothese einer konstanten Langzeit-Gedächtnisspanne. *Psychologische Beiträge*, 17, 483-496.
- [6] **Bredenkamp, J.** (1993). Die Verknüpfung verschiedener Invarianzhypothesen im Bereich der Gedächtnispsychologie. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 40, 368-385.
- [7] **Bredenkamp, J. & Klein, K.-M.** (1998a). Experimental tests of a model connecting three invariance hypotheses on learning and memory process. *Zeitschrift für Psychologie*, 206, 107-124.
- [8] **Bredenkamp, J., Klein, K.-M., von Hayn, S. & Vaterrodt, B.** (1988). Gedächtnispsychologische Untersuchungen eines Rechenkünstlers. *Sprache & Kognition*, 7, 69-83.
- [9] **Briggs, G.E. & Blaha, J.** (1969). Memory retrieval and central comparison times in information processing. *Journal of Experimental Psychology*, 79, 395-402.
- [10] **Brown, H. L. & Kirsner, K.** (1980). A within-subjects analysis of the relationship between memory span and processing rate in short-term memory. *Cognitive Psychology*, 15, 177-187
- [11] **Burrows, D. & Murdock, B.B. Jr.** (1969). Effects of extended practice on high-speed scanning. *Journal of Experimental Psychology*, 82, 231-237.
- [12] **Burrows, D. & Okada, R.** (1975). Memory retrieval from long and short lists. *Science*, 188, 1031-1033.
- [13] **Cavanagh, J. P.** (1972). Relation between the immediate memory span and the memory search rate. *Psychological Review*, 79, 525-530.
- [14] **Cooper, E. H. & Pantle, A. J.** (1967). The total-time hypothesis in verbal learning. *Psychological Bulletin*, 68, 221-234.
- [15] **Dempster, F. N.** (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89, 63-100.
- [16] **Ericsson, K.A., Chase, W.G. & Faloon, S.** (1980). Acquisition of a memory skill. *Science*, 208, 1181-1182.
- [17] **Geissler, H.G.** (1986). Zeitquantenhypothese zur Struktur ultraschneller Gedächtnisprozesse. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 347-362.
- [18] **Geissler, H.-G.** (1987). The temporal architecture of central information processing: Evidence for a tentative time-quantum model. *Psychological Research*, 49, 99-106.
- [19] **Geissler, H.-G.** (1991). Zeitcodekonstanten — ein Bindeglied zwischen Psychologie und Physiologie bei der Erforschung kognitiver Prozesse? Hypothesen und Überlegungen zu Quantenstrukturen in der Alpha-Aktivität des Gehirns. *Zeitschrift für Psychologie*, 199, 121-143.
- [20] **Geissler, H.G.** (1992). *New magical numbers in mental activity: On a taxonomic system for critical time periods*. In: H.G. Geissler, S.W. Link & J.T. Townsend (Eds.). *Cognition, information processing, and psychophysics: Basic Issues*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Ass.,
- [21] **Hulme, C., Thomson, N., Muir, C. & Lawrence, A.** (1984). Speech rate and the development of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 38, 241-253.
- [22] **Klein, K.-M.** (1995). *Experimentelle Untersuchungen zu zwei Invarianzhypothesen des Kurzzeitgedächtnisses*. Bonn: Pace.
- [23] **Martin, P.R. & Fernberger, S.W.** (1929). Improvement in memory span. *American Journal of Psychology*, 41, 91-94.
- [24] **Miller, G.A.** (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- [25] **Müller, G.E.** (1911). *Zur Analyse der Gedächtnistätigkeit und des Vorstellungsverlaufes*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth.
- [26] **Müller, G.E. & Schumann, F.** (1894). Experimentelle Beiträge zur Untersuchung des Gedächtnisses. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, 6, 81-190 und 257-339.

Klaus-Martin Klein: A hipótese da invariância de Cavanagh: a nova perspectiva!

- [27] **Nevelsky, P.B.** (1970). Comparative investigation of the short- and long-term memory span. In K. H. Pribram & D. E. Broadbent (Eds.), *Biology of memory* (pp. 21-28). New York: Academic Press.
- [28] **Nickerson, R.S.** (1966). Response-times with a memory dependent decision task. *Journal of Experimental Psychology*, 72, 761-769.
- [29] **Okada, R. & Burrows, D.** (1973). Organizational factors in high-speed scanning. *Journal of Experimental Psychology*, 101, 77-81.
- [30] **Puckett, J. M. & Kausler, D. H.** (1984). Individual differences and models of memory span: A role for memory search rate. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 72-82.
- [31] **Puffe, M.** (1987). *Ein methodischer Ansatz zur gleichzeitigen Bestimmung von Speicherkapazität und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Kurzzeitgedächtnis*. In: H.-G. Geiler & K. Reschke (Eds.), *Psychophysische Grundlagen mentaler Prozesse*. Leipzig: Karl-Marx-Universität, 122-138.
- [32] **Puffe, M.** (1990). *Quantized speed-capacity relations in short-term memory*. In: H.-G. Geissler (Ed.), *Psychophysical explorations of mental structures*. Toronto: Hogrefe & Huber Publishers, pp. 290-302.
- [33] **Simon, H.A.** (1974). How big is a chunk? *Science*, 183, 482-488.
- [34] **Sternberg, S.** (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153, 652-654.
- [35] **Sternberg, S.** (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, 30, 276-315.
- [36] **Watkins, M.J.** (1977). The intricacy of memory span. *Memory & Cognition*, 5, 529-534.