

Relação entre decodificação, fluência, velocidade e compreensão de leitura

Adriana Marques de Oliveira

Maíra Anelli Martins

Vera Lúcia Orlandi Cunha

Como citar: OLIVEIRA, Adriana Marques de; MARTINS, Maíra Anelli; CUNHA, Vera Lúcia Orlandi. Relação entre decodificação, fluência, velocidade e compreensão de leitura. *In:* OKUDA, Paola Matiko Martins; ANDRADE, Olga Valéria Campana dos Anjos; CAPELLINI, Simone Aparecida. (org.). **Tópicos em transtornos de aprendizagem:** parte IV. Marília: Fundepe; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015. p. 41-53. DOI: <https://doi.org/10.36311/2015.978-85-7983-641-1.p41-53>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Relação do Processamento auditivo com a leitura e a escrita

**Ecila Paula Mesquita de Oliveira
Luciane Sauer
Raquel Bernardes**

A capacidade de comunicação pode ser observada em todos os animais, porém a habilidade de comunicação por meio de símbolos gráficos é exclusiva da raça humana. Nesse sentido, a leitura e escrita são as formas mais elevadas de linguagem, as quais envolvem uma correlação entre um sinal auditivo e visual, exigindo um processo linguístico, anatômico e neuropsicológico altamente complexo.

Para que a comunicação chegasse ao estágio em que está, foram necessários anos de evolução biológica. O homem passou gradualmente da comunicação gestual para comunicação verbal e, durante milhares de anos, todo o processo linguístico foi sendo aprimorado. O surgimento da escrita, por sua vez, é um método de comunicação relativamente recente na história do desenvolvimento da linguagem, ou seja, filogeneticamente, somos muito mais preparados para a comunicação oral do que para a escrita.

Tentar desvendar e compreender os processos cognitivos que permeiam a aprendizagem da leitura e da escrita tem sido uma busca incessante da ciência há várias décadas. Felizmente, nos últimos 20 anos, as neurociências cognitivas avançaram de forma significativa, desvendando vários mecanismos envolvidos no ato de ler e escrever.

A relação entre o processamento auditivo e a linguagem oral pode ser estendida para os processos de leitura e escrita. A língua escrita é um subproduto da linguagem oral e, portanto, também muito dependente da integridade das habilidades do processamento auditivo. Além disso, os níveis linguísticos (sintaxe, semântica, pragmática) relacionam-se entre si. É difícil compreender um texto sem amplo vocabulário, sem uso adequado das estruturas sintáticas e

com a leitura frágil e lenta. Assim, como dominar conteúdos acadêmicos sem o domínio das funções metalinguísticas?

Para que uma criança apresente desempenho escolar sem dificuldades, não deve haver falhas no processamento cognitivo, linguístico, visual e auditivo. O início do aprendizado do sistema de escrita alfabético, para a leitura ou para a escrita, requer inicialmente a associação de cada som a uma letra específica (conversão grafema-fonema) e posteriormente o processamento, armazenamento e recuperação de informações (Capellini & Oliveira, 2011).

Compreender as relações entre os processos neurocognitivos envolvidos no processamento auditivo, na linguagem oral, no processamento fonológico e na aprendizagem da leitura e escrita é um passo fundamental para o aprimoramento da prática pedagógica, que tem a missão de alfabetizar nossas crianças, assim como para os profissionais da clínica que lidam diariamente com as dificuldades e os transtornos da leitura e da escrita.

Com isso, quando o processamento auditivo central está alterado, poderá haver falhas na representação dos fonemas no cérebro. Sendo o fonema a menor unidade fonológica da língua, se a sua representação apresentar falhas, a probabilidade de as outras habilidades da linguagem, como sintaxe e semântica, também falharem é grande (Schoschat et al., 2014).

No que se refere ao processamento auditivo, foco deste capítulo, falhas em qualquer habilidade trarão prejuízos à aquisição e desenvolvimento da leitura e da escrita, já que parte da conversão fonema-grafema exige que a percepção auditiva esteja íntegra e refinada.

Assim, o objetivo deste capítulo é explicar qual a relação do processamento auditivo com a leitura e a escrita e como a compreensão dessa relação pode favorecer a prática educacional e terapêutica.

Audição Periférica

Mesmo com maior conhecimento que se tem hoje sobre o processamento auditivo, é importante diferenciá-lo da acuidade auditiva.

O órgão da audição periférica é dividido em 3 partes – orelha externa, orelha média e orelha interna – as quais possuem funções específicas e integradas, com objetivo de detectar, amplificar e discriminar estímulos

acústicos. Na orelha interna, encontra-se a cóclea, estrutura que promove a transdução da energia sonora em sinais elétricos e possui padrão de detecção denominado tonotópico, ou seja, áreas específicas detectam frequências específicas. Esse padrão tonotópico mantém-se ao longo do tronco encefálico até a chegada no giro de Heschl do córtex auditivo primário do lobo temporal do hemisfério direito e esquerdo.

Considera-se, portanto, sistema auditivo periférico as estruturas que compõem desde a orelha externa até o oitavo par craniano. Já o tronco encefálico e o cérebro são definidos como sistema auditivo central (Schoeny & Talbott, 1999).

Processamento Auditivo

Processamento auditivo é um conjunto de habilidades realizadas pelo sistema nervoso auditivo central (vias do tronco encefálico e áreas cerebrais), fundamental no processo de compreender os estímulos acústicos. Importante ressaltar que é uma função não somente realizada em áreas cerebrais auditivas, mas decorrente da ação integrada de neurônios em diferentes regiões.

As habilidades perceptuais auditivas, segundo a *American Speech Language Hearing Association* (ASHA, 1996), envolvidas no processamento auditivo são: detecção, localização e lateralização sonora, discriminação auditiva, reconhecimento, aspectos auditivos temporais (resolução, mascaramento, integração e ordenação), desempenho auditivo em situação de estímulos competitivos e degradados.

As habilidades avaliadas na rotina clínica são:

- **Localização e lateralização sonora** – o teste binaural *masking level difference* (MLD) analisa as diferenças temporais e de intensidade interauriculares realizadas por estruturas do tronco encefálico e assim verifica a integridade da habilidade de lateralização sonora.
- **Habilidade de figura fundo** (atenção seletiva) – é avaliada por testes monóticos (dois estímulos competitivos em uma mesma orelha), denominados testes de identificação de sentenças sintéticas (PSI/SSI), com objetivo de avaliar a função de estruturas do tronco encefálico nas

tarefas de separação do estímulo alvo do estímulo competitivo. Essa habilidade, quando pouco eficiente, compromete a inteligibilidade da fala em ambiente acusticamente desfavorável e, conseqüentemente, gera falhas na manutenção da atenção por sobrecarga auditiva.

Vários autores relacionaram a dificuldade em compreender a fala em ambientes ruidosos a alterações neurofisiológicas, que incluem atrasos e respostas harmonicamente empobrecidos do tronco encefálico (Banai et al., 2009; Basu, Krishnan & Weber-Fox, 2010; Hornickel, Chandrasekaran, Zecker & Kraus, 2011).

A baixa eficiência em priorizar a representação dos elementos da fala em meio a ruídos é um sintoma comum na dislexia (Hoen et al., 2008).

Hornickel e Kraus (2013) relatam que a representação neural estável do som mantém as conexões cruciais para o desenvolvimento da linguagem e da leitura. Em um de seus estudos, constatou que leitores pobres apresentaram respostas auditivas do tronco encefálico significativamente mais variáveis do que grupos de bons leitores em ambientes acusticamente desfavoráveis. Dessa forma, crianças com dificuldade de leitura parecem ser mais sensíveis à percepção e codificação da fala não significativa em comparação a crianças com desenvolvimento típico (Noodenbos, Segers, Serniclaes, Mitterer & Verhoeven, 2012), tendo dificuldade adicional na formação de representações internas dos sons com significado (Hornickel, Skoe, Nicol, Zecker & Kraus, 2009), levando a déficits na percepção auditiva e conseqüentemente na leitura (Hornickel & Kraus, 2013).

- **Processamento temporal** – é definido como a habilidade do sistema auditivo representar e processar mudanças do sinal acústico ao longo do tempo. A adequada percepção auditiva requer boa resolução temporal, em uma escala de tempo de microssegundos para processamento de pistas binaurais, dezenas de milissegundos para processar informações de fala e voz e centenas de milissegundos a segundos para processar características de prosódia e informações suprasegmentais. Além disso, para que a informação faça sentido, é necessário organizá-la na ordem em que os eventos sonoros ocorrem (Banai & Kraus, 2007). Dentre as habilidades de processamento temporal, devem-se

avaliar, na rotina clínica, as habilidades de resolução temporal e ordenação ou sequencialização temporal.

- **Resolução temporal** (discriminação) – é definida como a capacidade de detectar intervalos de tempo entre estímulos sonoros ou detectar o menor tempo que um indivíduo consegue discriminar dois sinais acústicos. Para avaliar essa habilidade, existem dois testes binaurais - *Random Gap Detection Test* –RGDT (KEITH, 2000) e o *Gap in Noise* – GIN (MUSIEK et al., 2005). No teste RGDT são apresentados dois estímulos com gap de 0 a 40 milissegundos entre eles, e o paciente é orientado a responder quando percebe um ou dois estímulos. No teste GIN, é apresentado um ruído constante com gap de silêncio que varia de 2 a 20 milissegundos e o paciente é orientado a identificar os intervalos de silêncio.

Segundo Tallal (1980), crianças disléxicas possuem maior dificuldade na aprendizagem via modalidade auditiva do que crianças sem dificuldade na leitura. Dessa forma, os disléxicos sofrem de uma incapacidade primária no processamento auditivo-temporal e não conseguem organizar e integrar estímulos apresentados em velocidade aumentada, embora consigam processar os mesmos dados em velocidade mais baixa.

Nas últimas décadas, as técnicas de neuroimagem têm colaborado de forma importante na investigação de substratos neuroanatômicos no grupo de indivíduos com transtorno de aprendizagem, incluindo os disléxicos. Estudos (Dalby, Elbro & Stodkilde-Jorgensen, 1998; Duara et al., 1991; Galaburda, Cherman, Rose, Aboitiz & Geschwind, 1985; Larsen, Hoiem, Lundberg & Odegaard, 1990) demonstram alterações anatômicas em regiões do lobo temporal (*planum temporale*), frontal bilateral, girus angular e splenium do corpo caloso em indivíduos disléxicos, principalmente aqueles com déficit fonológico.

Capovilla & Capovilla (2000) evidenciaram forte relação entre habilidades de leitura e outras habilidades fonológicas, como a percepção, discriminação e o armazenamento fonológico. Além disso, alguns autores (Tallal, 1980) levantam a hipótese de que um déficit no processamento temporal pode ser a causa das dificuldades fonético-fonológicas observadas na dislexia.

Estudos realizados por Galaburda e Cestuick (2003) comprovaram que anomalias neurológicas ocorridas no período de desenvolvimento embrionário

são responsáveis pelas alterações funcionais das redes neurais que comprometem o processamento dos sons. Estudos utilizando dissecação de cérebros de disléxicos (Galaburda et al., 1985) observaram simetria do plano temporal do hemisfério direito e esquerdo, divergindo do padrão de assimetria, no qual o plano temporal do hemisfério esquerdo é maior do que as estruturas correlacionadas do hemisfério direito. Estudos em disléxicos utilizando exame de neuroimagem comprovam a falta de assimetria dos planos temporais (Hynd, Semrud-Clikeman, Novary & Eliopoulos, 1990; Larsen et al., 1990).

- **Ordenação temporal** (análise e nomeação de padrões temporais) - exige discriminação, sequencialização, ordenação temporal dos sons, utilizando como estímulos padrões de frequência e duração do som. Esses testes têm sido amplamente investigados, devido à importância que apresentam na percepção da fala (Fu, 2002). A habilidade de reconhecer, identificar e sequencializar corretamente padrões auditivos envolve processos cognitivos e perceptuais (Pinheiro & Musiek, 1985) e são sensíveis a disfunções/lesões do hemisfério direito e esquerdo, assim como disfunções inter-hemisféricas (Musiek & Pinheiro, 1987).

Os testes de padrão de frequência e duração, desenvolvidos por Musiek & Pinheiro (1987) e Musiek, Baran e Pinheiro (1990) respectivamente, consistem na apresentação de três tons, considerando que no padrão de frequência são apresentados dois tons com frequências diferentes (880 Hz e 1122 Hz). Já o teste de padrão de duração consiste na apresentação de três tons puros com dois tempos diferentes (250 milissegundos e 500 milissegundos). O indivíduo é solicitado a responder imitando os sons (*humming*) e os nomeando (verbalmente). A análise do contorno acústico (resposta por imitação do som) é realizada pelo hemisfério direito. Essa informação é enviada via corpo caloso para o hemisfério esquerdo, onde a análise linguística é aplicada ao sinal (Shinn, 2007).

Musiek et al. (2005) afirma que a habilidade de processamento temporal permeia todas as habilidades de processamento auditivo e está ligada a outras que vão desde a percepção musical, até a percepção da fala e a leitura.

O hemisfério direito contribui para a leitura e escrita no uso correto de espaços, identificação da parte esquerda do texto, ortografia, melodia, ritmo de leitura, compreensão de conteúdo emocional (Coslett & Monsul, 1994) e

orientação visuo-espacial (Springer & Deutsch, 1998). Todas essas funções são consideradas primordiais para a aquisição da leitura e da escrita.

O corpo caloso é a maior comissura do corpo humano, possuindo de 200-250 milhões de projeções axônicas que interconectam a maior parte do córtex cerebral em ambos os hemisférios. Há relatos na literatura relacionando estreitamento do corpo caloso em indivíduos disléxicos (Galaburda et al., 1985).

- **Integração e separação binaural** são habilidades analisadas por intermédio dos testes dicóticos, utilizando estímulos de dissílabos alternados (SSW), dígitos e consoante vogal. O termo dicótico refere-se a dois estímulos auditivos diferentes apresentados simultaneamente um em cada orelha.

Em relação à habilidade de integração binaural, o indivíduo é solicitado a repetir os estímulos das duas orelhas. No que concerne à habilidade de separação binaural, o sujeito é solicitado a repetir os estímulos de uma determinada orelha e ignorar os da orelha oposta. São habilidades relacionadas à atenção dividida e seletiva, respectivamente.

Bocca, Calearo e Cassinari (1954, citados por Katz, 1999) foram os primeiros pesquisadores a utilizar estímulos de fala em apresentação dicótica, verificando respostas piores na orelha contralateral à lesão hemisférica. Kimura (1961, citada por Katz, 1999) propôs a teoria estrutural, na qual sob audição dicótica os elementos neurais da via contralateral são mais ativados, enquanto ocorre supressão da atividade da via ipsilateral.

O teste de escuta-dicótica consoante-vogal é um dos testes desenvolvidos para se estudar a especialização hemisférica para funções de linguagem.

Com a especialização do hemisfério esquerdo para estímulos linguísticos, há muitos anos, vem sendo relatada a vantagem da orelha direita nesse teste, sendo que os indivíduos que possuem a dominância da linguagem no hemisfério direito apresentam melhores resultados na orelha esquerda.

Os testes dicóticos são sensíveis a disfunções/lesões de conexões inter-hemisféricas e intra-hemisféricas de hemisfério direito e esquerdo (Alvarez, Sanchez & Carvalho, 2008).

Leitura

Segundo Shaywitz (2006), ler é algo que se adquire, em nível consciente, e que depende do esforço e vontade do leitor. A decodificação das letras em sons (grafema-fonema) envolve as regiões superiores do lobo temporal esquerdo (responsáveis pela análise da representação dos sons). É no nível do lobo temporal que as letras vistas e os sons ouvidos se encontram.

Numa visão moderna das redes corticais da leitura, a região occipito temporal esquerda reconhece a forma visual das palavras e distribui essas informações por várias áreas do hemisfério esquerdo, envolvidas na representação do significado, na sonoridade e na articulação das palavras. Aprender a ler consiste, pois, em pôr em conexão as áreas visuais com as áreas da linguagem oral. Cada uma dessas operações faz apelo a uma ou a várias áreas corticais distintas. Além disso, as conexões corticais não se estabelecem sob a forma de cadeias lineares: cada região contata várias outras em paralelo e todas as interconexões entre as regiões são bidirecionais (Dehaene, 2012).

Van Atteveldt, Formisano, Goebel e Blomert (2004) em seus estudos com IRM funcional demonstraram que, quando há compatibilidade entre as letras e os sons, o *planum temporale* reage com aumento da atividade; por outro lado, quando há conflito entre a letra e o som, a atividade é reduzida. “O *planum temporale* esquerdo, é uma das áreas cerebrais mais importantes, pois codifica a sonoridade dos grafemas e das palavras” (Dehaene, 2012). Justamente pelo fato de essa área permitir o encontro das informações visuais e auditivas, ela é essencial na aprendizagem da leitura.

Segundo o modelo de “reciclagem neuronal”, o processo de aquisição de leitura vai provocando uma reconversão nos circuitos visuais e linguísticos a partir da região occipito-temporal esquerda e progride para outras regiões temporais, parietais e frontais que passam a processar letras, pares de letras e palavras” (Dehaene, 2012). Ainda segundo esse autor, “aprender a ler só é possível porque o cérebro da criança já contém, em grande medida, as estruturas neuronais visuais e linguísticas apropriadas, sejam elas herdadas filogeneticamente ou resultado de uma aprendizagem anterior. Portanto, é fundamental analisar o período de desenvolvimento dos 5 primeiros anos de vida da criança”.

A competência de discriminação auditiva está presente no cérebro da criança desde os primeiros meses de vida. As competências linguísticas do bebê

repousam sobre uma rede cortical do hemisfério esquerdo, ativada no cérebro do adulto durante o uso da linguagem (Dehaene-Lambertz & Dehaene, 1994; Dehaene-Lambertz, Dehaene & Hertz-Painer, 2002; Pena et al., 2003). A região temporal superior esquerda analisa os sons da fala, e o sulco superior temporal esquerdo mostra uma organização hierárquica ligada à análise progressiva dos fonemas, palavras e frases. A região frontal inferior esquerda, área de Broca, implicada na produção da fala e análise da gramática, é ativada no bebê de 3 meses quando ele escuta frases. Durante o primeiro ano de vida, a rede das áreas da linguagem especializa-se progressivamente sob a influência da língua materna (Kurl, 2004). A criança explora as regularidades da língua, tria e elimina aquelas que devem ser excluídas (Altmann, 2002; Marcus & Berent, 2003; Marcus, Vijayan, Bandi Rao & Vishton, 1999; Saffran, Aslin & Newport, 1996). Ao final do segundo ano, o vocabulário explode enquanto a gramática se instala. No momento em que começa a ler, por volta dos 5 ou 6 anos, estima-se que a criança tenha uma representação detalhada da fonologia, um bom vocabulário e conhecimento das principais estruturas gramaticais da língua, paralelamente à estruturação do sistema visual.

Assim, para aprender a ler, a criança precisa colocar em conexão dois sistemas presentes em seu cérebro desde pequena: o sistema visual de reconhecimento das formas e as áreas da linguagem.

Segundo Seymour e MacGregor (1984) e Frith (1985, citado por Santos & Navas, 2002), o desenvolvimento da leitura e da escrita ocorre em três etapas:

- Na etapa logográfica, a criança ainda não compreendeu a lógica da escrita. O reconhecimento é igual para palavras, objetos e rostos. Sendo assim, realiza uma pseudoleitura utilizando a via visual-semântica;
- Na etapa fonológica, o indivíduo passa a fazer uso da metafonologia ou consciência fonêmica, associando os fonemas aos grafemas da língua. Esse aprendizado vai progredindo do mais simples para o mais complexo;
- Na etapa ortográfica, o leitor passa do mecanismo de decodificação lenta para a automática, utilizando a via lexical da leitura.

Durante o processo de aquisição da leitura, duas rotas são desenvolvidas: a rota fonológica e a rota lexical. A via (ou rota) fonológica é utilizada pelos leitores iniciantes e até por leitores adultos, quando se deparam com palavras

novas ou desconhecidas. Durante essa rota, antes de as palavras serem eventualmente associadas ao seu significado, elas são enviadas às áreas auditivas do lobo temporal superior. A via (ou rota) lexical, por sua vez, é utilizada frequentemente pelo bom leitor, sendo uma via direta para a significação da palavra. Nessa rota, as palavras acessam diretamente as regiões semânticas do lobo temporal médio. Dehaene (2012) confirma o consenso atual de que as duas rotas de leitura são ativadas simultaneamente nos adultos.

Depois de concluída a etapa de decodificação da leitura, o processo continua e o objetivo passa a ser a fluência e a compreensão do que foi lido. Segundo Costa-Ferreira e Sávio (2009), para efetivar a compreensão, é preciso realizar conexões, estabelecer inferências e diversas relações.

Escrita

A escrita é um método de comunicação criado pelo homem tempos depois da linguagem ter sido adquirida.

Como já mencionado anteriormente, o sistema alfabético que caracteriza a escrita implica correspondências entre sons e letras. Assim, é possível encontrar palavras que são escritas praticamente do modo como são faladas, não havendo discrepâncias entre a forma de falar e a forma de escrever. “Por outro lado, frequentemente encontramos palavras que podem ser pronunciadas de uma forma, mas escritas de outra; o padrão acústico-articulatório nesse último caso, não coincide com o padrão visual ou ortográfico” (Stampa, 2009).

O fato é que, independente da relação direta ou não entre os padrões acústico, visual e ortográfico, a integridade das habilidades do processamento auditivo, principalmente a decodificação, é imprescindível.

A transparência da nossa língua tende a simplificar a leitura em uma simples passagem das letras aos sons (conversão grafema-fonema) e a escrita no processo inverso. O processo de associação grafema-fonema exige a participação de análise e síntese de fonemas, e essa condição é dada em parte pela decodificação auditiva. No entanto, esses processos não estão desprovidos de ambiguidade, visto que há palavras que não conseguem ser distinguidas corretamente, apenas com a transcrição fonética. Mas, segundo Dehaene, S. (2012) “são essas convenções ortográficas que ao mesmo tempo em que complicam o

trabalho do escritor, facilitam a do leitor, já que apontam a palavra diretamente ao significado”.

As línguas transparentes, como a nossa, ativam mais fortemente as áreas auditivas do lobo temporal, pois a conversão dos grafemas em fonemas é mais direta. Quando a ortografia é mais opaca (como no caso do Inglês), a região frontal inferior é mais ativada, já que há necessidade de uma análise lexical e semântica das palavras.

A dificuldade que a criança pode apresentar para aprender a ler e a escrever pode estar relacionada com a pouca transparência da língua, ou com a dificuldade apresentada na representação do fonema. “É importante afirmar, no entanto, que não é só a representação da fala por meio da escrita que faz do indivíduo um bom escritor, mas a produção de um texto depende de adequada estruturação do discurso, de coesão, de argumentação de ideias e seleção de palavras” (Morais, 1995).

Relação do processamento auditivo com a leitura e a escrita

Desordens do processamento auditivo estão diretamente relacionadas às dificuldades na linguagem oral e na escrita (Musiek, 1989; Norther & Downs, 1989). No entanto, no estudo de Bishop, Carlyon, Deeks e Bishop (1999), os autores destacam que nem todas as crianças com problemas linguísticos apresentaram dificuldades no processamento auditivo temporal e vice-versa. Assim, o déficit de processamento auditivo pode estar presente em crianças com linguagem normal. Ainda segundo esses autores, são inúmeras as causas ou fatores de risco que agem sinergicamente e que levam a transtornos nos diferentes níveis linguísticos. O comprometimento das habilidades do processamento auditivo não é um fator causal suficiente para gerar dificuldades de linguagem.

Por outro lado, Bailey e Snowling (2002) descreveram que algumas alterações de processamento auditivo podem ser a base de inúmeros problemas de linguagem, tais como: alterações no processamento binaural, dificuldade de perceber fala com ruído de fundo, déficit de discriminação e ordenação temporal de sequências rápidas no sinal auditivo e falhas na discriminação de frequência.

A avaliação do processamento auditivo não deve ser utilizada como valor diagnóstico em si, mas sim como parte das avaliações necessárias na difícil tarefa de estabelecer diagnóstico. Os resultados também favorecem a elaboração de estratégias terapêuticas mais adequadas e eficientes.

Dependendo das habilidades auditivas alteradas e suas recíprocas áreas de disfunção/imaturidade, é possível determinar subtipos de alterações do processamento auditivo que são definidas como: decodificação auditiva, integração auditiva e prosódia.

Decodificação refere-se à disfunções/imaturidade de habilidades realizadas por núcleos e estruturas que compõem a via auditiva aferente (tronco encefálico) e o córtex auditivo primário de lobo temporal direito e esquerdo.

O déficit de decodificação compromete de maneira mais significativa o processo da leitura e escrita quando há dificuldade na habilidade de processar mudanças rápidas de características espectrais ao longo da via auditiva. Este é um processo essencial para o desenvolvimento da linguagem, portanto, sua alteração gera instabilidade na representação dos sons da fala (fonemas) e, conseqüentemente, déficit na consciência da estrutura fonológica da língua, lentidão na leitura e possíveis trocas de letras de caráter auditivo na escrita. Capovilla e Capovilla (2002) relataram que alterações na resolução temporal apontam para dificuldades em discriminação, integração e armazenamento no domínio verbal.

De acordo com Katz (1999), indivíduos com comprometimento de decodificação podem apresentar habilidades fonéticas pobres (afetando a leitura e soletração), bem como a linguagem receptiva e dificuldades articulatórias.

O trabalho de Castro-Caldas, Peterssons, Reis, Stone-Elander e Ingvar (1998), comparando um grupo de adultos alfabetizados com um grupo de iletrados, demonstrou como a aprendizagem do código escrito modifica a forma de escutar os sons da fala. A alfabetização enriquece o código fonológico. A aprendizagem do alfabeto ensina a quebrar a cadeia de sons em fonemas, assim como altera a anatomia do cérebro. Esse trabalho com adultos é considerado um dos primeiros a mostrar como a aprendizagem da leitura modifica as competências do nosso cérebro, as quais começam pela via visual e se estendem ao conjunto das áreas da linguagem. A decodificação fonológica das palavras é a etapa chave da leitura, e a conversão grafema-fonema é uma invenção na

história da escrita. Dessa maneira, essa conversão não se desenvolve espontaneamente, sendo, pois, necessário ensiná-la.

Integração auditiva diz respeito à disfunção/imaturidade da comunicação inter-hemisférica (corpo caloso), gerando dificuldades no reconhecimento de padrões gestálticos da palavra e frase, leitura lenta/silabada com substituições de palavras semelhantes no contorno visual (Bellis, 2003).

O processo de alfabetização modifica a ativação das regiões cerebrais, assim como a anatomia, conforme Castro-Caldas et al. (1999) encontraram em um de seus estudos. Ao compararem grupos de adultos alfabetizados com analfabetos, eles encontraram, nos resultados de IRM funcional, espessamento da parte posterior do corpo caloso que conecta as regiões parietais dos dois hemisférios nos adultos alfabetizados.

Prosódia refere-se à disfunção/imaturidade das habilidades auditivas do lobo temporal direito e está relacionada à dificuldade em realizar inferências, em compreender ironias e palavras de duplo sentido, realizar acentuação e uso adequado de pontuação, o que compromete, assim, a compreensão de textos e enunciados.

Falhas encontradas em testes não verbais indicam alterações no hemisfério cerebral direito, o que pode ser correlacionado com dificuldades em compreender piadas, metáforas, palavras com sentido ambíguo, além de alterações de prosódia. A compreensão de textos, nesses casos, pode apresentar-se bem prejudicada.

O processamento auditivo, além de avaliar as questões especificamente auditivas, também contribui para apontar indícios de comprometimento de áreas não auditivas, como, por exemplo, processos cognitivos superiores (memória evocativa e operativa, atenção, linguagem).

Just e Carpenter (1992) afirmaram que os indivíduos com maior capacidade de memória auditiva de curto prazo apresentam maior extensão de leitura e podem processar linguagem com sintaxe mais complexa do que indivíduos com menor capacidade de memória.

Por fim, Siegel (1988; 1992, citado por Felipe & Colafêmima, 2002) encontrou a capacidade de memória auditiva de curto prazo rebaixada nos disléxicos e leitores pobres em relação aos que não apresentavam problemas de leitura e de escrita.

Considerações finais

Pesquisas científicas realizadas nos últimos anos, utilizando medidas neuroanatômicas, neurofisiológicas e exames de imagem, indicam que existe uma relação entre transtorno do processamento auditivo, aquisição de linguagem e leitura. Esses estudos levam a crer que déficits no processamento de estímulos auditivos estão relacionados a distúrbios de leitura e de linguagem em crianças e adultos, contribuindo, assim, para um desempenho escolar insatisfatório (Dias & Tedesco, 2011).

Considerando a importância do adequado desenvolvimento das habilidades do processamento auditivo (discriminar, localizar, lateralizar, analisar, ordenar e integrar) para os processos de aquisição de fala, linguagem, leitura e escrita, é fundamental que, desde cedo, algumas condições sejam garantidas, tais como: prevenção e controle de alterações que possam comprometer a acuidade auditiva e visual; promoção de situações e ambientes ricos em estimulação auditiva, de fala e de linguagem; identificação precoce das dificuldades perceptuais e motoras.

Portanto, a utilização de intervenção com enfoque nas habilidades auditivas e neurocognitivas em crianças com transtornos de leitura e escrita é extremamente benéfica, pois provoca mudanças funcionais e estruturais no sistema nervoso auditivo central. Porém, vale ressaltar que a plasticidade é variável de acordo com a idade do indivíduo. Assim, crianças mais novas respondem com mais sucesso à estimulação.

No entanto, não só as habilidades do processamento auditivo precisam estar bem desenvolvidas, mas também as competências fonológicas. A capacidade de pensar conscientemente sobre os sons da fala e suas combinações é uma das aquisições mais importantes nos primeiros anos de escolaridade da criança.

Essa complexa tarefa, denominada consciência fonológica, resulta da relação entre a escrita das palavras e a oralidade.

Em idade pré-escolar, é importante desenvolver atividades de discriminação auditiva, rimas infantis e contos rimados, pois permitem trabalhar, de forma lúdica, a consciência fonológica, o vocabulário e a memória auditiva. Com essas atividades, as crianças começam a refletir sobre a estrutura da linguagem oral e a analisar a língua nos seus constituintes sonoros: discurso –

palavras – sílabas – fonemas. A ponte para os símbolos gráficos começa a ser efetuada quando as crianças identificam as sílabas e fonemas na oralidade.

Dessa forma, as habilidades do processamento auditivo, da linguagem oral, leitura e escrita se estabelecem e se fortalecem, beneficiando o desenvolvimento cognitivo da criança.

Finalmente, é importante ressaltar que todas as crianças, apesar da plasticidade cerebral que possuem e que lhes permite superar certas dificuldades, sempre se beneficiarão de uma aprendizagem explícita e precoce, que promova o melhor aproveitamento do sistema visual, auditivo e da linguagem.

Referências

- Altmann, G. T. (2002). Statistical learning in infants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 15250-15251. doi: 10.1073/pnas.262659399.
- Alvarez, A. M., Sanchez, M. L., & Carvalho, I. A. M. (2008). Neuroaudiologia e linguagem. In: D. Fuentes, L. F. Malloy-Diniz, C. H. P. Camargo, & R. M. Cosenza, (Orgs), *Neuropsicologia: teoria e prática* (pp. 136-150). Porto Alegre: Editora Artmed.
- American Speech-Hearing and Language Association. (1996). Task force on central auditory processing consenses developmental. Central auditory processing: current status of research and implications for clinical practice. *American Journal of Audiology*, 5(2), 41-54.
- Bailey, P. J. & Snowling, M. J. (2002). Auditory processing and the developmental of language and literacy. *British Medical Bulletin*, 63, 135-146. doi: 10.1093/bmb/63.1.135.
- Banai, K. & Kraus, N. (2007). Neurobiology of (central) auditory processing disorder and language-based learning disability. In: G. D. Chermak, & F. E. Musiek (Eds), *Handbook of (central) auditory processing disorder* (pp. 89-116) (Vol I). San Diego: Plural Publishing Inc.
- Banai, K., Hornickel, J., Skoe, E., Nicol, T., Zecker, S. G., & Kraus, N. (2009). Reading and subcortical auditory function. *Cerebral Cortex*, 19, 2699-2707. doi: 10.1093/cercor/bhp024.
- Basu, M., Krishnan, A. & Weber-Fox, C. (2010). Brainstem correlates of temporal auditory processing in children with specific language impairment. *Developmental Science*, 13, 77-91. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00849.x.

- Bellis, T. J. (2003). Assessment and management of central auditory processing disorders in the educational setting from science to practice. *Ear and Hearing, 18*(3), 267-313.
- Bishop, D. V., Carlyon, R. P., Deeks, J. M., & Bishop, S. J. (1999). Auditory temporal processing impairment: neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 42*, 1295-310. doi:10.1044/jslhr.4206.1295.
- Capellini, S. A. & Oliveira, A. M. (2011). Desempenho de escolares de ensino público e particular na adaptação brasileira da Avaliação dos processos de leitura (PROLEC). In: C. Capovilla (Org). *Transtornos de aprendizagem: progressos em avaliação e intervenção preventiva e remediativa* (2ª ed.). São Paulo: Memnon.
- Capovilla, A. G. S., & Capovilla, F. C. (2000). Uma perspectiva geral sobre a leitura, escrita e suas relações com consciência fonológica. In: A. G. S Capovilla, & F. C. Capovilla (Eds), *Problemas de leitura e escrita* (pp. 3-37). São Paulo: Memnon.
- Capovilla, F., & Capovilla, A. (2002). Intervenção em dificuldades de leitura e escrita com tratamento de consciência fonológica. In: M. T. M Santos, A. L. G. P. Navas, *Distúrbios de leitura e escrita: teoria e prática* (pp. 225-261). São Paulo: Manole.
- Castro-Caldas, A., Peterssons, K. M., Reis, A., Stone-Elander, S. & Ingvar, M. (1998). The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. *Brain, 121*, 1053-1063. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/brain/121.6.1053>.
- Coslett, H. B., & Monsul, N. (1994). Reading with the right hemisphere: evidence from transcranial magnetic stimulation. *Brain and Language, 46*, 198-211. doi: 10.1006/brln.1994.1012.
- Costa-Ferreira, M. I. D., Sávio, C.B. (2009). Relação entre transtorno de processamento auditivo e dificuldades na compreensão leitora. *Letrônica: Revista Digital do PPGLR, 2*(1), 26-41.
- Dalby, M. A., Elbro, C., Stodkilde-Jorgensen, H. (1998). Temporal lobe asymmetry and Dyslexia: an in vivo study using MRI. *Brain and Language, 62*, 51-69. doi:10.1006/brln.1997.1887.
- Dehaene, S. (2012). *Os neurônios da leitura: como a ciência explica a nossa capacidade de ler* (L. Scliar-Cabral, Trad.). Porto Alegre: Penso.
- Dehaene-Lambertz, G. & Dehaene, S. (1994). Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants. *Nature, 370*, 292-295. doi: 10.1038/370292a0.
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., & Hertz-Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science, 298*, 2013-2015. doi: 10.1126/science.1077066.

- Dias, K. Z., & Tedesco, M. L. F. (2011). Processamento auditivo: treino auditivo formal. In: F. C. Capovilla (Org). *Transtornos de aprendizagem: progressos em avaliação e intervenção preventiva e remediativa* (2ª ed). São Paulo: Memnon.
- Duara, R., Kushch, A., Gross-Glenn, K., Barcher, W., Jallad, B., Pascal, S. et al. (1991). Neuroanatomic differences between dyslexia and normal readers on magnetic resonance imaging scans. *Archives of Neurology*, 48, 410-416. doi: 10.1001/archneur.1991.00530160078018.
- Felippe, A. C. N., & Colafêmina, J. F. (2002). Avaliação simplificada do processamento auditivo e o desempenho em tarefas de leitura-escrita. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 14(2), 225-234.
- Fu, Q. (2002). Temporal processing and speech recognition in cochlear users. In: Musiek, F. E., Chemark, G. D. *Handbook of (central) auditory processing disorder*, (Vol. 1, pp. 231-256). San Diego: Plural Publishing.
- Galaburda, A. M., Cherman, G. F., Rose, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233. doi: 10.1002/ana.410180210.
- Galaburda, A. M., & Cestnick, L. (2003). Dyslexia del desarrollo. *Revista de Neurología*, 36 (supl. 1), 53-59.
- Hoen M., Grataloup C., Veuillet E., Thai-Van H., Collet, L., & Meunier, F. (2008). Evolution of auditory processing disorder and auditory processing efferent system functionality in adultdyslexics: towards a unificationtheoryofauditory-languageprocessingimpairments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123, 3566-72. doi:10.1121/1.2934624.
- Hornickel, J., Skoe, E., Nicol, T., Zecker, S. G., & Kraus, N. (2009). Subcortical differentiation of stop consonants relates to reading and speech-in-noise perception. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 106, 13022-13027. doi: 10.1073/pnas.0901123106.
- Hornickel, J., Chandrasekaran, B., Zecker, S. G., & Kraus, N. (2011). Auditory brain stem measures predict reading and speech-in-noise perception in school-aged children. *Behavioural Brain Research*, 216, 597-605. doi:10.1016/j.bbr.2010.08.051.
- Hornickel, J., & Kraus, N. (2013). Unstable representation of sound: A biological marker of dyslexia. *The Journal of Neuroscience*, 33, 3500-3504. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4205-12.2013.
- Hynd, G. W., Semrud-Clikeman, M., Lorys, A. R., Noverly, E. S., & Eliopoulos, D. (1990). Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder hyperactivity. *Archives of Neurology*, 47, 919-926. doi:10.1001/archneur.1990.00530080107018

- Just, M. & Carpenter, A. (1992). A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149. doi:10.1037/0033-295X.99.1.122.
- Katz, J. (1999). *Tratado de Audiologia Clínica* (1º ed). São Paulo: Editora Manole.
- Keith, R. W. (2000). *Random gap detection test*. St. Louis: Auditec.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 831-843. doi:10.1038/nrn1533.
- Larsen, J. P., Høien, T., Lundberg, I., & Odegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporal in adolescent with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 39, 289-301. doi:10.1016/0093-934X(90)90015-9.
- Marcus, G. F., Vijayan, S., Bandi Rao, S., & Vishton, P. M. (1999). Rule learning by seven-month-old infants. *Science*, 283, 77-80. doi: 10.1126/science.283.5398.77.
- Marcus, G. F. & Berent, I. (2003). Are there limits to statistical learning? *Science*, 300, 53-55. doi: 10.1126/science.300.5616.53.
- Morais, A. G. (1995). Representaciones infantiles sobre la ortografía del português. Tesis de Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Morais, A. G. (2011). Qual o papel de diferentes habilidades metafonológicas no aprendizado da escrita alfabética, se a concebemos como um sistema notacional (e não como um código)? In: R. Lamprecht (Org). *Aquisição da linguagem – Estudos recentes no Brasil* (pp. 93-112). Porto Alegre: EDI PUCRS.
- Musiek, F., & Pinheiro, M. (1987). Frequency patterns in cochlear, brainstem and cerebral lesions. *International Journal of Audiology*, 26(2), 78-88.
- Musiek, F. E. (1989). Aplicação de testes auditivos centrais: uma abordagem geral. In J. Katz (Ed), *Tratado de Audiologia Clínica* (pp. 323-339). São Paulo: Manole.
- Musiek, F., Baran, J., & Pinheiro, M. (1990). Duration pattern recognition in normal subjects and patients cerebral and cochlear lesions. *Audiology*, 29, 304-313. doi: 10.3109/00206099009072861.
- Musiek, F., Shinn, J., Jirsa, R., Bamiou, D., Baran, J., & Zaiden, E. (2005). The gin (gap in noise) test performance in subjects with confirmed central auditory nervous system involvement *Ear and Hearing*, 26, 608-618. doi: 10.1097/01.aud.0000188069.80699.41.
- Noodenbos, M. W., Segers, E., Serniclaes, W., Mitterer, H., & Verhoeven, L. (2012). Neural evidence of allophonic perception in children at risk for dyslexia. *Neuropsychologia*, 50, 2010-2017. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.04.026.
- Northern, J. L., & Downs, M. P. (1989). *Audição em crianças*. São Paulo: Manole.
- Pinheiro, M., Musiek, E. (1985). Assessment of central auditory dysfunction: Foundations and clinical correlates. In: F. E. Musiek, G. D. Chermak. *Handbook of (central) auditory processing disorder* (Vol. 1). San Diego: Plural Publishing, 2007.

- Pena, M., Maki, A., Kovacic, D., Dehaene-Lambertz, G., Koizumi, H., Bouquet, F. et al. (2003). Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 11702-11705. doi: 10.1073/pnas.1934290100.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, 1926-1928. doi: 10.1126/science.274.5294.1926.
- Santos, M. T. M. & Navas, A. L. G. P. (2002). *Distúrbios de Leitura e Escrita, teoria e prática*. São Paulo: Editora Manole.
- Schochat, E., Befi-Lopes, D. M., Ventura, D. F., Teixeira, R. A. A., Zachi, E. C., & Rocha-Muniz, C. N. (2014). Associação entre transtornos no desenvolvimento de linguagem e processamento auditivo. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80, 231-236. doi: 10.1016/j.bjorl.2014.01.002
- Schoeny, Z. G., & Talbott, R. E. (1999). Testes centrais: procedimentos utilizando estímulos não verbais. In: J. Katz (Ed.), *Tratado de audiologia clínica* (pp. 210-219). São Paulo: Editora Manole.
- Seymour, P. H. K., & MacGregor, C. J. (1984). Developmental dyslexia: a cognitive developmental analysis of phonological, morphemic and visual impairments. *Cognitive Neuropsychology*, 1, 43-82. doi: 10.1080/02643298408252016.
- Shaywitz, S. (2006). Entendendo a dislexia. Porto Alegre: Artmed.
- Shinn, J. B. (2007). Temporal processing and temporal patterning tests. In: F. E. Musiek, G. D. Charmak. *Handbook of (central) auditory processing disorders: auditory neuroscience and diagnosis* (pp. 231-256). San Diego: Plural Publishing Inc.
- Siegel, L. S. (1988). Evidence that IQ scores are irrelevant to the definition and analysis of reading disability. *Canadian Journal of Psychology*, 42, 202-215. doi: 10.1037/h0084184.
- Siegel, L. S. (1992). An evaluation of the discrepancy of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 25, 618-629. doi: 10.1177/002221949202501001.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1998). Cérebro direito, cérebro esquerdo. São Paulo: Grupo Editorial Summus.
- Stampa, M. (2009). *Aquisição da leitura e da escrita: uma abordagem teórica e prática a partir da consciência fonológica*. Rio de Janeiro: Wak Ed.
- Tallal, P. (1980). Auditory temporal perception, phonics and Reading disabilities in children. *Brain and language*, 9, 182-198. doi: 10.1016/0093-934X(80)90139-X.
- Van Atteveldt, N., Formisano, E., Goebel, R., & Blomert, L. (2004). Integration of letters and speech sounds in the human brain. *Neuron*, 43, 271-282. doi: 10.1016/j.neuron.2004.06.025.