

O que acontece no cérebro quando falamos? Nas últimas décadas, pesquisas sobre os mecanismos neurofisiológicos responsáveis pela aquisição e uso da linguagem vêm sendo realizadas em vários países e já se mostram como uma das áreas mais produtivas da neurociência. Registros da atividade bioelétrica no córtex e dos padrões do fluxo sanguíneo no interior do cérebro, aferidos por técnicas como a eletroencefalografia, a ressonância magnética funcional e outras, permitem identificar o modo e a localização da ativação cerebral enquanto ouvimos e produzimos a linguagem. No Brasil, os estudos nessa área altamente interdisciplinar estão começando agora, e os primeiros resultados confirmam descobertas já clássicas da neurolingüística e apontam rumos para a investigação de outros aspectos da faculdade da linguagem ainda não testados por essas técnicas.

Aniela Improta França

Projeto Concatenações Lingüísticas:
Psicolingüística e Neurofisiologia (Clipsen),
Departamento de Lingüística,
Universidade Federal do Rio de Janeiro



“Lingüística.” É o que geralmente respondo quando me perguntam sobre minha área de pesquisa. A resposta mais precisa seria “neurolingüística”, mas esta suscita a maior confusão. Isso porque nos últimos 20 anos essa palavra tem sido usada para definir dois campos de atuação radicalmente diferentes.

Um deles tem objetivos terapêuticos e propõe estratégias de programação do inconsciente para favorecer o bem-estar físico e psicológico do indivíduo: é a ‘programação neurolingüística’ (ou PNL). Essa subárea da psicologia foi fundada nos Estados Unidos nos anos 70 por John Grinder e seu aluno Robert Bandler e entrou no Brasil especialmente com os cursos, palestras e livros do médico Lair Ribeiro. As pessoas procuram a PNL para conhecer e dominar a ‘engenharia da autopersuasão’. Desejam reforçar a autoconfiança, melhorar a memória, fazer emergir sua verdadeira vocação, suprimir medos, desprogramar padrões perturbadores auto-impostos e programar padrões promotores de saúde e equilíbrio emocional. Enfim, a PNL se propõe a atuar na solução de problemas existenciais do ser humano.

A neurolingüística que eu faço é uma área da neurociência que pesquisa os mecanismos neurofisiológicos responsáveis pela aquisição e uso da linguagem. Ou seja, nesse campo do saber, temos de ser capazes de problematizar algo que funciona tão automaticamente que tomamos como trivial: a linguagem humana.

UM FLAGRANTE DA LINGUAGEM NO

CÉREBRO

QUAL O SEU NOME?

ESPERA QUE EU ESTOU PROCESSANDO A PERGUNTA.

Na realidade, a faculdade da linguagem nada tem de trivial. O vocabulário médio de um adulto em sua língua nativa, por exemplo, alcança em torno de 50 mil palavras, codificadas por cerca de 40 unidades distintivas de som de fala (fonemas). Veja que tanto o vocabulário numeroso quanto o pequeno inventário de fonemas deveriam ser desfavoráveis à existência da linguagem no homem: temos poucos códigos para distinguir muitos itens. Apesar disso, após o curto período de aquisição de linguagem, entre dois e três anos de idade, nos integramos a uma comunidade lingüística e, sem nenhum esforço, usamos essa língua com mais naturalidade do que um estrangeiro que passou anos tentando aprendê-la depois de adulto.

Além disso, enquanto processamos a fala, que chega ao cérebro através dos ouvidos, pensamos e produzimos outros conteúdos, observando critérios de qualidade de cunho estrutural, discursivo e contextual. E fazemos tudo isso mantendo o fluxo da comunicação ininterrupto, em uma velocidade média de cinco sílabas por segundo! Ao contrário da situação ilustrada na figura 1, sempre encontramos recursos cognitivos para vencer a enorme pressão do tempo imposta pelos padrões da comunicação oral.

Para 'dar conta do recado' e entender uma palavra que lemos ou que nos é dita, precisamos acessar nossa representação mental daquela pala-

vra-alvo. Para isso, usamos um complexo de estratégias de ativação, competição e supressão de conteúdos mentais. É que, ao tentarmos ativar a representação da palavra-alvo, ativamos outras, que competem entre si por reconhecimento. Ao final do processo, a palavra-alvo sobressai, pois atinge o máximo nível de ativação e é então reconhecida.

Esse processo de ativação múltipla acontece porque a palavra-alvo sempre se relaciona a múltiplos aspectos dos conteúdos mentais. As representações do som de uma palavra (fonologia), do seu significado (semântica) e dos pedaços que a formam (morfologia) entram em jogo nesse processo. Por exemplo, ouvir a palavra 'banana' ativa representações mentais de palavras como 'batata' e 'nana', por semelhança de som com a palavra ouvida. Mas também pode ativar 'manga' e 'maçã', por serem do mesmo campo semântico, e 'bananada' e 'embananada', por pertencerem à família de palavras formadas a partir da mesma raiz 'banan'. E ativa também, é claro, a representação da palavra-alvo, 'banana', que acaba por ganhar a competição entre todas as representações de outras palavras relacionadas. E nós nem nos damos conta de que entender as palavras envolve tudo isso. ▶

Figura 1. O processamento da linguagem no cérebro é quase instantâneo e feito sem esforço. Ao contrário do que é mostrado na ilustração

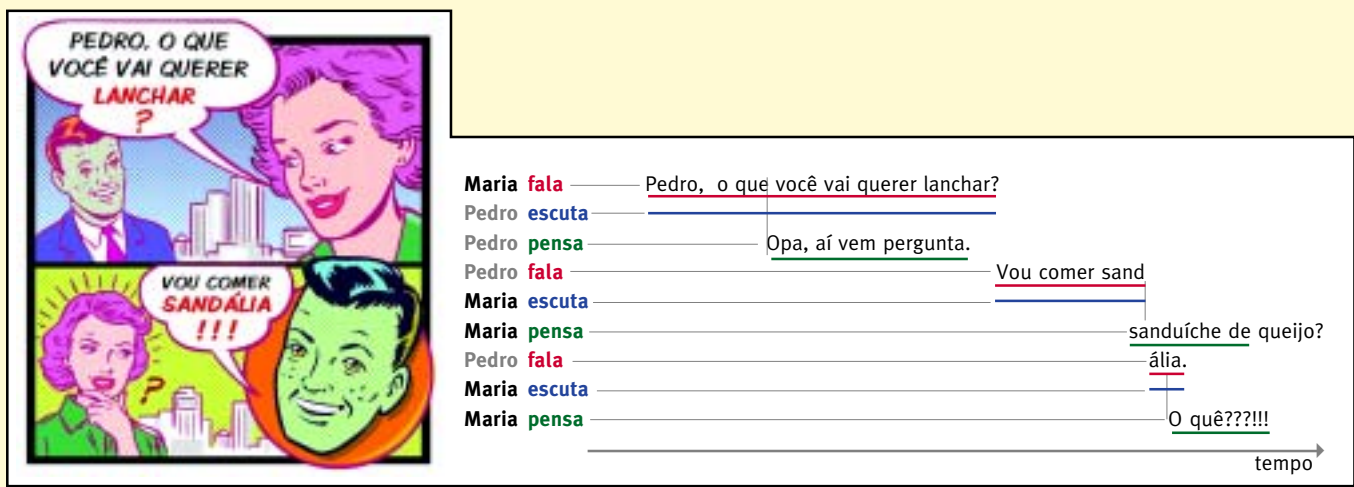


Figura 2. Alguns tipos de incongruência lingüística fazem o interlocutor levar um 'susto', que provoca aumento da atividade elétrica no cérebro

REAÇÃO DIANTE DE UMA INCONGRUÊNCIA

Há também estratégias estruturais para processar as palavras dentro das frases. Estas tentam antecipar a fala do interlocutor, para que a interação lingüística possa ocorrer ininterruptamente. Observe o diálogo reproduzido na figura 2 e suas dimensões simultâneas.

O 'susto' que Maria levou decorreu de sua previsão quanto à resposta de Pedro. A partir do momento em que ouviu 'comer', Maria tinha o objetivo de juntar esse verbo ao seu complemento o mais rápido possível, para completar o sentido da proposição de Pedro. Assim, antes mesmo de ouvir o complemento, ela se preparou para reconhecê-lo, já sabendo que este teria de ser comestível. Isso já diminuiu na mente de Maria o número de candidatos a complemento, pois houve uma pré-ativação de palavras que se referem a comestíveis e uma supressão de outras, entre estas 'sandália'. Depois, à medida que ouve os primeiros sons (fonemas) do complemento, Maria parecia esses sons com aqueles das palavras pré-ativadas na sua mente. No ponto 'sand' (/sãd/), ela encontra em sua mente um perfeito candidato a complemento: 'sanduíche'. Mesmo antes de ouvir os fonemas finais, ela ativa a representação desse complemento. Nesse ponto, talvez ela até se adiante e pense sobre o recheio: "Sanduíche de queijo?"

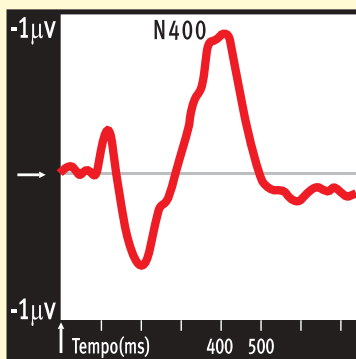


Figura 3. O gráfico da atividade elétrica no cérebro, em uma situação lingüística como a do diálogo da figura 2, mostra um pico de aumento nessa atividade em torno de 400 milissegundos após a pessoa ouvir a 'incongruência'

Mas Pedro queria brincar com Maria. Embora lidasse com a pressão do tempo da comunicação, ele conseguiu, na seqüência do diálogo, encaixar um complemento incongruente, 'sandália', que causou esse 'susto semântico' em Maria. O susto foi especialmente grande porque Maria tinha acabado de suprimir 'sandália' de sua mente, junto com as outras representações de coisas não comestíveis.

Já se sabe que a exposição a uma incongruência semântica na concatenação verbo-complemento (comer-sandália) causa um aumento na atividade elétrica no cérebro, que pode ser percebido no córtex 400 ms (milissegundos) após o estímulo auditivo ou visual.

Se a atividade elétrica no cérebro de Maria estivesse sendo monitorada por um eletroencefalógrafo (EEG), seu susto poderia ser visualizado em um traçado como o da figura 3. Também veríamos uma onda se monitorássemos a atividade elétrica no cérebro de alguém que ouve "Vou comer sanduíche", mas com amplitude (altura do pico) bem menor. Então, é possível reconhecer a onda da incongruência por sua grande amplitude, que chega ao máximo em torno dos 400 ms. Na verdade, essa onda ficou muito famosa na literatura de neurociência e é conhecida como 'N400' (N de negativo e 400 de 400 ms) – é a 'assinatura elétrica da incongruência semântica'.

Se estivéssemos monitorando as variações na atividade do cérebro de Maria por tomografia de emissão de pósitrons (PET, em inglês) ou ressonância magnética funcional (fMRI, em inglês), veríamos quais áreas se tornam menos ou mais ativas metabolicamente a cada momento, já que esses aparelhos rastreiam as variações na circulação sanguínea cerebral e as representam em imagens 'construídas' do cérebro em atividade. Quando Maria ouvisse a incongruência semântica, observaríamos um aumento localizado da circulação sanguínea nas áreas frontais e temporais do seu cérebro, representado por cores cada vez mais vermelhas nas imagens geradas.

O mapa da atividade do cérebro de Maria, relacionado com a tarefa de tentar concatenar o verbo ‘comer’ com o complemento incongruente ‘sandália’, seria como o da figura 4. É como se tirássemos uma fotografia de alta resolução da atividade cerebral. A foto, porém, só mostra o efeito depois que a atividade lingüística termina, tendo em vista que a concatenação acontece em milésimos de segundos, enquanto a chegada de sangue às áreas recrutadas para a tarefa leva de 1 a 10 segundos. Isso quer dizer que as técnicas hemodinâmicas não têm boa resolução temporal, ou seja, mostram imagens do deslocamento do sangue, que só ocorre após a ativação elétrica que lhe dá origem. Essa característica das técnicas hemodinâmicas representa um sério obstáculo para a avaliação do processamento lingüístico.

EVENTOS LINGÜÍSTICOS E ATIVIDADE CEREBRAL

As técnicas eletromagnéticas são poderosos instrumentos para monitorar a ativação elétrica relacionada a estímulos lingüísticos exatamente porque oferecem grande precisão temporal: os impulsos elétricos no cérebro podem ser detectados quase instantaneamente no couro cabeludo, através do osso craniano. Enquanto o voluntário executa uma tarefa lingüística – decidir, por exemplo, se a frase que ele está lendo na tela do computador é congruente –, a atividade elétrica de seu cérebro é monitorada por eletrodos fixados no couro cabeludo, como mostra a figura 5.

Os eletrodos são ligados, pela outra extremidade, a um eletroencefalógrafo, que recebe e amplifica os fracos sinais elétricos captados. Tais sinais são sincronizados ao evento lingüístico-alvo, ou seja, é possível saber exatamente quando um estímulo foi mostrado ao voluntário e que onda é resultante da reação a esse estímulo.

Entretanto, a onda relativa à incongruência testada não é perceptível a partir de apenas uma ocorrência de evento lingüístico do tipo “João comeu sandália”. O sinal gerado pela transição entre ‘comer’ e ‘sandália’ é muito reduzido. Além disso, durante a captação dos sinais de EEG também são captados involuntariamente outros sinais (relacionados a fatos incidentais, como bocejos, espasmos motores, piscar de olhos), e ruídos de interferência cruzada com outras fontes elétricas.

Para separar o sinal do evento experimental dos demais e identificar somente a onda que se quer estudar, usa-se uma técnica chamada de ‘promediação’. Somam-se todos os sinais relativos ao ponto que se quer estudar em todos os estímulos do

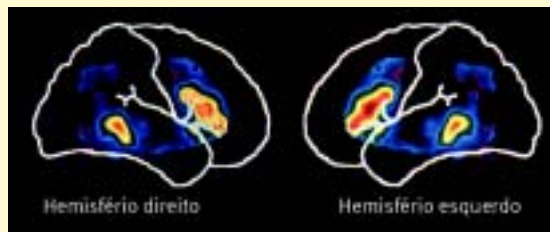


Figura 4. Imagens da mobilização do sangue no cérebro, depois que uma pessoa ouve uma incongruência semântica como a do diálogo da figura 2, mostram onde ocorre aumento do fluxo sanguíneo (áreas mais vermelhas)

experimento (‘comer sandália’ + ‘vestir prego’ + ‘limpar medo’ etc.). Se houver sinais incidentais, eles também entrarão nessa soma, mas, como são aleatórios, tenderão a sumir, enquanto os sinais que sempre exibem o mesmo padrão no tempo permanecerão. Por exemplo: a onda dos trechos ‘comer sandália’, ‘vestir prego’ e ‘limpar medo’ começa a se elevar por volta dos 390 ms, e um sinal relacionado a um bocejo aparece aos 300 ms. Ao efetuarmos a média desses quatro sinais, mais o sinal incidental, o sinal do bocejo vai tender a zero, à medida que forem somados a ele muitos sinais exibindo um mesmo padrão. Ao final da operação de promediação, a onda resultante é a ‘verdadeira’, conhecida como ‘potencial relacionado a evento’, ou ERP (do inglês *event-related brain potential*): uma onda positiva (representada no traçado com o pico para baixo) ou negativa (com o pico para cima).

O N400, que você já conhece, é um ERP. Alguns outros ERPs relacionados a fenômenos lingüísticos são o ELAN (do inglês *early left anterior negativity*, ou seja, ‘negatividade anterior esquerda precoce’), que acusa muito cedo, entre 125 e 180 ms, um erro na escolha de classe de palavras (por exemplo, “João comprou sorriu” – verbo-verbo em vez de verbo-complemento); o P600, relacionado à má-formação sintática (por exemplo, “João corremos”) e o LPC, do inglês *late positive component* (‘componente positivo tardio’), uma onda positiva entre 500 e 800 ms, que acusa anomalias na formação de palavras morfologicamente irregulares (exemplos, “imprimido”, “fazi”). ▶

Figura 5. Sistema usado para a investigação da atividade elétrica no cérebro associada a estímulos lingüísticos, com eletrodos fixados nas áreas pré-frontal (FP), frontal (F), temporal (T), central (C), parietal (P) e occipital (O)





Figura 6. Sentenças congruentes e incongruentes foram apresentadas aos voluntários na tela do computador, enquanto um eletroencefalógrafo captava as alterações da atividade elétrica no córtex

É assim que a neurolingüística estuda atividades cognitivas realizadas durante o processamento da linguagem: avaliando alterações elétricas e hemodinâmicas no cérebro, durante a realização de pequenas tarefas cognitivas estritamente lingüísticas e também as não lingüísticas, mas ligadas de alguma forma ao processamento lingüístico. Essa ciência surgiu nos anos 80, a partir de dois eventos principais. De um lado, os testes de ERP, já empregados desde os anos 50 na avaliação de doenças que afetam

as cognições de linguagem, visão e audição, passaram a ser usados também em pesquisa básica de cognição de linguagem. De outro, surgiram as técnicas não-invasivas (fMRI) ou minimamente invasivas (PET) de aferição da atividade cerebral por imagem.

Assim, a partir desse panorama favorável à investigação, surgiram muitos laboratórios de neurolingüística nos Estados Unidos e na Europa, reunindo lingüistas, médicos, biólogos e engenheiros, em torno da caracterização neurofisiológica da linguagem no indivíduo sadio.

TESTES NEUROLINGÜÍSTICOS PIONEIROS NO BRASIL

No Brasil, esse tipo de pesquisa neurolingüística com indivíduos sãos começou em 2002, quando realizei os experimentos relatados em minha tese de doutorado: *Concatenações lingüísticas: estudo de diferentes módulos cognitivos na aquisição e no córtex*. Essa pesquisa resultou de um esforço con-

junto do Departamento de Lingüística da UFRJ, através da lingüista Miriam Lemle, orientadora da tese, e do Laboratório de Processamento de Sinais (Programa de Engenharia Biomédica da Coppe/UFRJ), por meio da equipe do engenheiro biomédico Antonio Fernando Catelli Infantsi.

O objetivo desse primeiro trabalho nessa área era investigar a reação do córtex cerebral, medida pelo eletroencefalógrafo, à incongruência na concatenação verbo-complemento em português. Por isso, em uma primeira série, seguimos o protocolo clássico de experimentos para extração de N400, que consiste em apresentar ao voluntário, na tela de um computador, sentenças congruentes (por exemplo: “A menina leu um livro”), misturadas aleatoriamente a sentenças incongruentes (do tipo “O homem comeu uma sandália”). As sentenças eram mostradas palavra por palavra, e cada palavra ficava na tela por 200 ms (figura 6).

Ao final de cada sentença, o voluntário era instruído a apertar um entre dois botões no teclado, para indicar se a sentença era congruente ou incongruente. Antes de o voluntário pressionar o botão, porém, o julgamento mais importante já tinha acontecido, independentemente da sua consciência, na forma de ativação elétrica captada e registrada no traçado do eletroencefalógrafo.

Nossos resultados, nessa série, foram compatíveis com as características dos achados clássicos em relação ao N400: por volta dos 200 ms, a onda ‘começa a exibir uma negatividade’ (vemos que ela começa a subir), que atinge seu ponto máximo em torno dos 400 ms, como se vê na figura 7. Observou-se ainda que os ERPs de sentenças incongruentes (linhas vermelhas) apresentam um ‘pico’ mais elevado e que a amplitude do N400 é ligeiramente maior no eletrodo C4 (na área central do crânio, à direita), como relatada em outros trabalhos sobre esse ERP, embora essa tendência por uma amplitude ligeiramente maior à direita não ocorra tam-

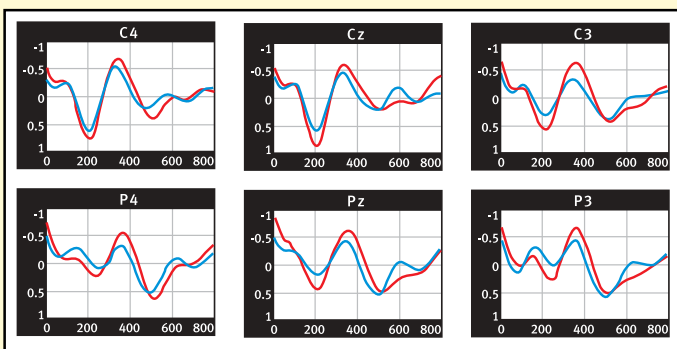


Figura 7. Gráficos dos ERPs registrados (em seis dos 20 pontos do crânio) na primeira série de experimentos de neurolingüística com sentenças congruentes (em azul) e incongruentes (em vermelho)

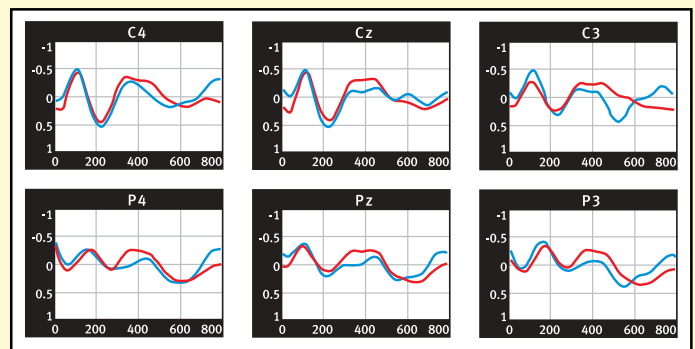
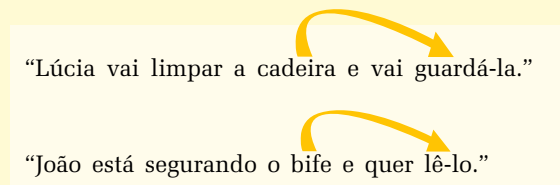


Figura 8. Gráficos dos ERPs registrados (em seis dos 20 pontos do crânio) na segunda série de experimentos de neurolingüística com sentenças congruentes (em azul) e incongruentes (em vermelho)

bém no eletrodo P4 (na área parietal, à direita).

Depois de testarmos estímulos clássicos para o N400 na série 1, onde verbo e complemento aparecem lado a lado (“guiar carro” e “comer pedra”), incluímos outras séries de estímulos que alteravam de maneira sutil o contexto das incongruências (e que têm sido testados com frequência muito menor). Queríamos saber se a ‘assinatura elétrica da incongruência’ seria afetada por essas condições especiais dos estímulos.

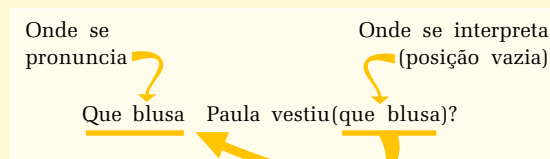
Na série 2, por exemplo, tínhamos sentenças como “Lúcia vai limpar a cadeira e vai guardá-la” e “João está segurando o bife e quer lê-lo”. Note que os verbos ‘guardar’ e ‘ler’ estão concatenados apropriadamente aos respectivos complementos, através de formas pronominais ‘la’ e ‘lo’. Entretanto, como ‘la’ e ‘lo’ não têm conteúdos semânticos próprios, precisamos, para saber se a concatenação deu certo, transferir para eles as características semânticas dos antecedentes ‘cadeira’ e ‘bife’.



“Guardar a cadeira” faz sentido, mas “ler o bife” não! Será que essa incongruência resultaria também em um N400? Na verdade, achamos um N400 para a série 2, mas seu formato é marcadamente diferente do observado na série anterior, como se vê na figura 8. O ERP exhibe um ‘platô’, que relacionamos com a complexidade da tarefa de transferir propriedades semânticas do complemento da primeira oração para o pronome da segunda oração.

Por último, testamos, na série 3, sentenças do tipo “Que blusa Paula vestiu?” e “Que histórias Denise refogou?”. As palavras interrogativas ‘quem’, ‘como’, ‘quando’, ‘quanto’ e ‘que’, conhecidas em linguística

como ‘frase QU-’, têm um comportamento bastante peculiar nas línguas naturais. Por exemplo, ‘que blusa’ completa o sentido do verbo ‘vestiu’ e, portanto, é interpretado ao lado desse verbo: “Paula vestiu que blusa?” Mas reparem que, nesse tipo de construção em português, a ‘frase QU-’ geralmente aparece no início da sentença, deslocada de seu local de interpretação. Esse é um recurso discursivo, autorizado pela sintaxe do português, para avisar ao interlocutor que virá uma pergunta.



Os ERPs relacionados a essa série mostraram maior ativação que nas outras séries e a maior diferença entre as sentenças congruentes e incongruentes, como mostra a figura 9. Como já é conhecido, a presença da expressão QU- no início da sentença é como uma bandeira de aviso de que vai haver uma pergunta e de que a concatenação será à distância. Isso funciona como uma preparação cognitiva que aciona mecanismos de atenção e memória, salientando que os conteúdos semânticos só serão integrados quando o verbo aparecer – nesse caso, 400 milissegundos depois. Por isso, quando surge a incongruência, a reação a ela é mais vigorosa.

Os resultados desses experimentos indicam que a concatenação verbo-complemento não é uma operação única. Dependendo da configuração sintática, ela envolve diferentes subtarefas cognitivas que se manifestam eletricamente em formas diversas de ERP. Tais achados permitem ressaltar também que a natureza da neurolinguística é desvendar aspectos diminutos da cognição: uma ciência do detalhe, da microdiferença.

Assim, a partir desta e de mais pesquisas – no exterior ou no Brasil, inclusive algumas já em andamento no recém-inaugurado Laboratório de Concatenações Linguísticas: Psicolinguística e Neurofisiologia (Laboratório Clipsen), na Universidade Federal do Rio de Janeiro –, estabeleceremos pouco a pouco a interface entre as representações abstratas propostas pela teoria linguística e os registros hemodinâmicos e elétricos da atividade cerebral. Ao empreender essa complexa tarefa, a neurolinguística vem mexendo nas fronteiras científicas, causando esforços interdisciplinares que, entre outras revoluções, efetivamente situam a linguística entre as ciências naturais. ■

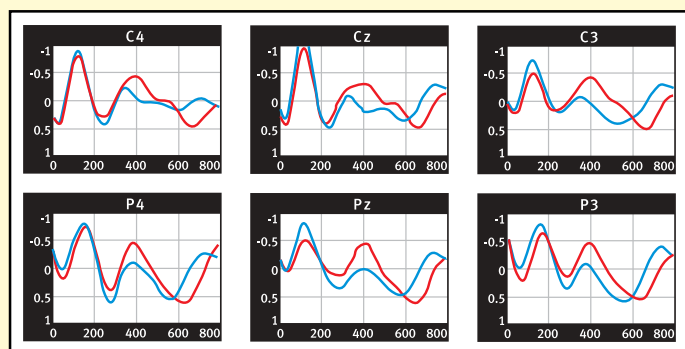


Figura 9. Gráficos dos ERPs registrados (em seis dos 20 pontos do crânio) na terceira série de experimentos de neurolinguística com sentenças congruentes (em azul) e incongruentes (em vermelho)

Sugestões para leitura

- DEHAENE-LAMBERTZ, G. & DEHAENE, S. ‘Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants’, in *Nature*, v. 370 (5), p. 292, 1994.
- FRANÇA, A.I. *Concatenações linguísticas: estudo de diferentes módulos cognitivos na aquisição e no córtex (tese de doutorado)*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- FRANÇA, A.I.; LEMLE, M.; CAGY, M.; CONSTANT, P.D. & INFANTOSI, A.F.C. ‘Discriminating among different types of verb-complement merge in Brazilian Portuguese: an ERP study of morpho-syntactic sub-processes’, in *Journal of Neurolinguistics*, v. 17, issue 6 (nov.), p. 425, 2004.
- HICKOK, G. & POEPEL, D. ‘Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language’, in *Cognition*, v. 92, p. 67, 2004.