

MODULANDO O N400 ATRAVÉS DA INCONGRUÊNCIA SEMÂNTICA ESTABELECIDADA PELA RELAÇÃO ANTECEDENTE-PRONOME

Aniela Improta França (UFRJ / CNPq / FAPERJ)

Aline da Rocha Gesualdi (CEFET-RJ)

Marije Soto (UFRJ)

RESUMO

Este é um estudo experimental sobre a relação anafórica pronominal em português. Os voluntários foram estimulados por sentenças escritas enquanto são monitorados por um EEG ligado a um computador que coordena a aplicação da técnica de Potencial Relacionado a Evento (ERP). Esta é uma técnica eletrofisiológica que permite que se extraia de um exame eletroencefalográfico ondas cerebrais que são a soma das atividades elétricas relativas a um evento linguístico específico de interesse. Foram feitas comparações entre ERPs relativos a sentenças com relações anafóricas congruentes e incongruentes contrastadas também a outras sentenças controle. Os resultados apontam para um forte viés dos voluntários a lidarem com a incongruência das sentenças sem lançar mão de alternativas discursivas previstas pelo Princípio B da Teoria da ligação.

PALAVRAS-CHAVE: relação anafórica, EEG/ERPs, neurofisiologia da linguagem, Princípio B da Teoria de ligação, incongruência semântica.

1. INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos historicamente mais estudados em linguística, especialmente dentro do arcabouço teórico da Gramática Gerativa, é a referência anafórica. Trata-se da possibilidade cognitiva de se estabelecer relação entre dois elementos A e B, quando B, tecnicamente chamado de elemento anafórico, recebe o conteúdo semântico total ou parcial de A, que é antecedente de B (Wasow, 1972). Nas línguas naturais, um epifenômeno da computação das relações anafóricas é que elas se tornam imprescindíveis para funcionalidades comunicativas a que elas, em última análise, acabam servindo, pois podem vincular de forma efetiva e econômica elementos sentenciais entre si, contíguos linearmente e à distância, ou vincular elementos sentenciais a entidades do discurso.

“[Mas a] Faculdade da Linguagem não pode ser reduzida a um componente geral da inteligência, já que ela interage com requisitos pragmáticos da comunicação. Assim, a existência de efeitos

interpretativos bem específicos, condicionados pela sintaxe, oferece um dos argumentos mais contundentes para a existência de uma capacidade inata para linguagem, independente de outras habilidades cognitivas.”¹ (Safir, 2004, p. 9, tradução nossa)

Diante da interação observável da cognição de linguagem com outras cognições, como a pragmática, um programa de pesquisa com adequação neurofisiológica deve se lançar ao encalço de quais são os mecanismos da vinculação, quais são as restrições impostas pela sintaxe, que tipo de informação os mecanismos mobilizam e como a computação da referência é implementada no cérebro. Ou seja, o fenômeno deve ser bem entendido desde sua computação até sua fisiologia.

Parte deste amplo programa de estudos foi desenvolvido sob o escopo da Teoria da Regência e Ligação (GB - Government and Binding Theory: Chomsky, 1981). Com a GB, houve um maior entendimento sobre fatos sintáticos envolvidos na distribuição complementar de sentenças, que exemplificam os diferentes tipos de relações anafóricas e seus elementos principais, como (1), (2) e (3):

(1) João_i vai se_i barbear.

(2) Pedro_i disse que ele_{i/j} chegou hoje.

(3) Ele_i disse que Júlio_j chegou hoje.

Em (1) temos um caso de correferência fixa, em que *João* é o antecedente, e o pronome reflexivo *se* é a anáfora reflexiva. Eles estão co-indexados, pois se referem a conteúdos idênticos, ou quase idênticos, já que só partes de João são barbeáveis. Notem que o DP antecedente e que a anáfora reflexiva são os argumentos do verbo, portanto intrinsecamente ligados a ele. Mais especificamente, para que a relação de identidade se estabeleça entre o antecedente e a anáfora, é crucial que o antecedente c-comande² a anáfora (Reinhart, 1976, 1981).

Em (2) temos um caso de anáfora pronominal que enseja uma referência potencialmente ambígua no nível da sentença. O pronome *ele* é o elemento anafórico que busca uma relação de identidade com um DP antecedente e tem, em primeira instância, *Pedro* como um candidato possível. Porém, a relação entre *Pedro* e *ele* não é fixa e inevitável, como a que exemplificamos em (1). Em (2) existe uma operação de adequação pragmática que pode vir a rejeitar *Pedro* como antecedente e pode, em segunda instância, adotar um antecedente que não está na sentença, mas sim no discurso, em um espaço extrassintático. O ato da designação do antecedente discursivo pode incluir gestos, expressões faciais e também conhecimento do mundo para indicar que ele é alguém diferente de Pedro. Isto é possível porque a anáfora pronominal se porta semanticamente como uma variável, cuja denotação não é fixa e se dá por meio de um operador de ligação ou por uma função extrassentencial contextual (Heim, Kratzer, 1998).

1. [But the] Language Faculty does not reduce to a generalized conceptual component of intelligence as it interacts with the pragmatic requirements of communication. Thus, the existence of rather specific interpretive effects conditioned by syntax provides one of the foremost arguments for the existence of an innate linguistic capacity independent of other forms of cognitive ability.” (Safir, 2004, p. 9).

2. C-Comando (constituente command) é uma relação estrutural entendida como fundamental para a sintaxe. É a base para diversos fenômenos sintáticos como correferência, movimento, escopo, ligação variável e muitos outros. A relação foi primeiro definida em termos de precedência de constituintes por Langacker (1966), mas foi melhor entendida por Reinhart (1976), uma tese de doutoramento fundamental para a Teoria Linguística: Um nó A c-comanda um nó B se e somente se o primeiro nó ramificado que domina A também domina B. A distância entre A e B também é outra variável de importância. Nós irmãos se c-comandam simetricamente, pois são equidistantes, mas a relação tio sobrinho (c-comando assimétrico) é uma configuração sintática de relevância especial.

Assim como está, sem elementos contextuais, (2) seria potencialmente ambígua, pois a variável pronominal pode assumir tanto o valor de Pedro como o de outra pessoa do sexo masculino, recuperável contextualmente. Note-se, no entanto, que essa ambiguidade semântica tem um fundamento sintático: diferentemente de (1), em (2) o antecedente está em outra sentença, dominada por outro verbo. Esta maior distância linear, que corresponde a uma maior distância hierárquica, licencia um local gramatical de procura do antecedente fora do bojo do verbo que escolhe o argumento anafórico. A hipótese que este trabalho vai assumir é que esta procura no discurso é regrada e só existe, mesmo em situação de fala, quando as opções de antecedente sentencial se acabaram.

Finalmente em (3) a referência é extrassintática, já que *ele* e *Júlio* se referem a entidades necessariamente diferentes. *Júlio* é uma expressão referencial e como tal já tem conteúdo, portanto não enseja relação anafórica. Já o pronome *ele* precisa de um antecedente, mas como este antecedente não está na sentença, o espaço discursivo fica naturalmente sendo o único campo de busca gramatical para um antecedente extralinguístico.

Os exemplos apresentados acima são casos típicos e simples de relação anafórica. Há muitos casos mais complexos, cujas análises extrapolam o objetivo do presente trabalho, mas que foram desafios enfrentados pelo campo de estudos da Teoria da Ligação, dentro do arcabouço teórico de Princípios e Parâmetros (PP). Procurando evidências em dados de um grande número de línguas naturais, a Teoria desenhou mecanismos de relação anafórica como sendo em parte regulados pelos Princípios A, B e C da Teoria de Ligação (Chomsky, 1981), abaixo definidos, e que estão em distribuição complementar em (1), (2) e (3).

Condição A: Um reflexivo deve ter um antecedente local, os dois dentro do mesmo domínio de regência do verbo, de forma que o antecedente c-comande o reflexivo.

Condição B: Um pronome pode ter um antecedente sentencial desde que ele não seja local. O pronome deve estar livre na sua categoria de regência de forma que o antecedente não o c-comande.

Condição C: Uma expressão referencial não pode ter um antecedente que a c-comande.

Pelas muitas línguas estudadas - línguas românicas, eslavas, e germânicas, húngaro, finlandês, grego, japonês, chinês e hindu, o relacionamento anafórico foi entendido como uma combinação de alguns traços sintáticos específicos contidos nos itens lexicais anafóricos, interagindo com princípios linguísticos mais gerais (Safir, 2004; Fox, 2000; Buring, 2005). Achados robustos de mecanismos sintáticos restringindo a correferência levam à inferência de que se trata de um universal linguístico. São computações que vêm na base do desenvolvimento cognitivo e que garantem um design econômico à arquitetura da linguagem, já que evitam repetições e resolvem algumas ambiguidades, embora ensejem outras, especialmente em relação ao Princípio B.

Evidentemente que mesmo sendo um universal, as computações que fazem uso dinâmico das representações que são usadas nas referências ainda estão sujeitas às relações da Gramática Universal com as interfaces e outros sistemas cognitivos.

Sob a ótica do desenvolvimento cognitivo do bebê, sabe-se que há circuitos e redes neuronais que não estão prontos quando o ser humano nasce e só podem interagir mais tarde com outras computações, provocando gargalos para o desenvolvimento. É o caso da memória e da linguagem. Os centros de

memória de trabalho, por exemplo, são restritos nos primeiros estágios de desenvolvimento cognitivo, e a necessidade de interação com estes sistemas é uma das razões que vemos o desenvolvimento da linguagem passar pelos estágios linguísticos que reconhecemos nos bebês (Poeppel, Wexler, 1993; Reinhart, 1999; Gualmini et al., 2001).

A identificação de um gargalo extralinguístico como a memória é importante para que se possam lançar hipóteses sobre as computações de linguagem que acontecem desde as primeiras fases de aquisição. No bojo das novas versões minimalistas, surge uma interpretação literal da relação de c-comando, que passaria a ter uma realidade processual como consequência essencial da aplicação de merge (operação de concatenação). A hipótese central desta teoria é a de que a relação sintática não está definida nas representações, mas é uma decorrência da concatenação, que é o mínimo exigido para que um termo se relacione com outro (Epstein, 1995). Assim, as sentenças subordinadas em (4) e (5) teriam custos processamentais diferentes:

(4) Joana disse que Ana se cortou agora.

(5) Pedro disse que ele_i chegou hoje.

A sentença (4) envolve especialmente concatenação do verbo com seus DPs-argumentos relacionados por c-comando assimétrico, o que em si já define a vinculação sem precisar de outros algoritmos. Enquanto (5) requisita mais recursos da memória de trabalho porque a vinculação envolve elementos da sentença principal e da subordinada, e um algoritmo de vinculação cujo escopo vai além do perímetro de atuação do c-comando.

Apesar desse maior custo, a computação de vinculação anafórica é logo desenvolvida pelas crianças. França (2004), é uma comparação entre os julgamentos de congruência executados por crianças de três, quatro, cinco e seis anos, ao atribuírem falas a um de dois bonecos: o Boneco Certinho e Boneco Maluquinho (Figura 1).³



Figura 1: Os fantoches de dedo Certinho e Maluquinho

3. No início do teste, dois fantoches de dedo eram apresentados ao voluntário: “Hoje você vai conhecer dois irmãos, o Certinho e o Maluquinho. Os dois são muito legais, mas eles são muito diferentes. O Certinho é todo arrumadinho e também fala tudo certo. Já o Maluquinho faz muita arte, não gosta de pentear o cabelo e fala um monte de coisa maluca. Imagine que ontem ele disse que tinha tomado banho com Coca-Cola e se esfregado com pão doce!! Depois ele falou que tinha comido um pedaço da televisão com molho de sabão. Ele sempre está falando maluquice! Agora eu vou mostrar para você estes dois irmãos, e você vai me dizer qual é o Certinho e qual é o Maluquinho, OK?” Depois a pesquisadora dava a tarefa do teste: “Agora eu vou contar para vocês uma coisa que um dos dois irmãos me disse, e você vai descobrir quem falou isso, o Certinho ou o Maluquinho.”

Eram falas como em (6) e (7), envolvendo a computação de vinculação entre antecedente e anáfora pronominal.

(6) Mickey pegou a bicicleta e limpou ela.

(7) ? Mickey pegou a bicicleta e comeu ela.

Todas as crianças estudadas (24, sendo seis de cada faixa etária) tiveram acerto acima da chance, tendo sido aplicado tratamento estatístico. Ao atribuírem congruência para os estímulos, as crianças de três anos erraram 33% das vezes; enquanto as de quatro anos erraram 16%; e as de cinco e seis anos, somente 2,7%. Parece que a operação de atribuição dos traços semânticos de um outro DP fora do domínio do segundo, ou seja, a atribuição de traços semânticos por transferência dependente de memória trouxe uma complexidade maior para as crianças de idades de três e quatro anos, já que a capacidade mnemônica aos três anos é ainda muito reduzida. Sabe-se, conforme afirmam Ornstein e Haden (2001), que o aparecimento e o refinamento de certas cognições estão relacionados ao desenvolvimento da memória na criança e na sua capacidade de falar sobre experiências no presente, discutir eventos do passado e planejar avaliações futuras, deliberadamente apoiadas na memória de situações passadas ou na experiência.

Além da disponibilidade cognitiva da linguagem, é essencial que outras cognições possam ser recrutadas para se levar a cabo uma tarefa que pode ter se originado no âmbito estritamente linguístico. (POEPEL, WEXLER, 1993; GUALMINI et al., 2001; CRAIN, PIETROSKY, 2001)

Porém, é interessante notar que quando as crianças de três e quatro anos atribuíam incongruência a sentenças congruentes, ou congruência a sentenças incongruentes, uma pergunta de esclarecimento era feita a elas. Por exemplo, *O que Paulo pegou?* e *O que Paulo limpou?*, para as quais a resposta unânime era o sujeito e o objeto sentenciais, ou seja, no caso exemplificado em (7), Mickey e a bicicleta. Em relação ao Princípio B, só a possibilidade de referência sentencial foi utilizada pelas crianças. Mesmo quando o julgamento de congruência apresentava desvio, não houve por parte das crianças a tentativa de atribuir referência pronominal a algum outro elemento do discurso disponível na cena do teste. Ficou claro que o pronome nulo (pro) na sentença (8) denotava *Mickey*, assim como *ela* denotava *bicicleta*, ambos antecedentes sentenciais, não pragmáticos.

Em França et al., (2004), a neurofisiologia (ERP⁴) de seis tipos de seleção argumental em adultos foram estudados e comparados em suas microcomputações, sendo que um dos tipos de seleção argumental envolvia exatamente a relação entre um pronome anafórico e seu antecedente. Os resultados apontaram para uma diferenciação entre os recursos cognitivos exigidos pela referência pronominal anafórica e aqueles envolvidos em uma seleção argumental local.

Nesta nova investigação, França et al., (2004) foi retomado focalizando na comparação da anáfora pronominal, cujos novos estímulos permitem uma comparação entre as séries anafórica e não anafórica de maneira mais direta.

4. O Potencial Relacionado a Evento (ERP) é uma técnica eletrofisiológica que permite que se extraia de um exame eletroencefalográfico ondas cerebrais que são a soma das atividades elétricas relativas a um evento linguístico específico de interesse. Os ERPs são obtidos através do registro e promediação das respostas a estímulos sensoriais acoplados no tempo, captados na superfície do crânio, através de eletrodos conectados a um eletroencefalograma (EEG).

Os objetivos são verificar a morfologia dos ERPs relacionados à procura do antecedente, o tempo de latência da onda e também sua amplitude. Um objetivo adicional foi traçado na medida em que os voluntários tinham que julgar a congruência das sentenças. As estratégias de reparo da incongruência puderam também serem estudadas no que tange à procura de antecedentes no discurso ou não.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Estímulos

O desenho do experimento, resumido na Tabela 1, foi apresentado aos voluntários no estilo entre-sujeitos para que nenhum participante visse verbos ou nomes de interesse mais de uma vez.

Código e Tipo	Sentença segmentada nos 7 agrupamentos de apresentação							Total de Itens
AC: anáfora congr.	Alexandra	foi amarrar	o pacote	para	levantar	ele	sem risco.	15
AI: anáfora incongr.	Humberto	foi esfregar	o sabão	para	limpar	ele	aos poucos.	15
CC: controle congr.	Sem	nenhum cuidado	Marcelo	foi	levantar	o pacote	da bancada.	15
CI: controle incongr.	Com,	muita disposição	Rodrigo	foi	limpar	o sabão	aos poucos.	15
DC: distratores congr.	As vezes	João	entra	na	salinha	para	estudar	30
DI: distratores incongr	Roberta	queria	engraxar	o	sapato	com	rolha	30
Total de estímulos								120

Tabela 1: Estímulos do experimento

Foram utilizados 30 estímulos experimentais nos quais havia uma anáfora pronominal na sentença de baixo, que poderia se referir a um nome antecedente na sentença de cima. Na metade dessas sentenças, a relação nome-anáfora era congruente, como em (8), e na outra metade, incongruente, como em (9).

(8) Alexandra foi amarrar o pacote para levantar ele sem risco.

(9) Humberto foi esfregar o sabão para limpar ele aos poucos.

Note-se que nas sentenças incongruentes até o aparecimento do pronome as sentenças não apresentavam nenhum problema semântico. O segundo verbo era sempre bem coerente com a ação descrita pela sentença de cima. Só ao aparecimento do pronome, é que a necessidade de antecedente tornava o conteúdo sentencial incongruente. Após o pronome, todas as sentenças tinham um região de proteção (*sem risco* e *aos poucos*) a fim de evitar que o efeito *wrap-up*⁵ caísse na palavra de interesse, ou seja, na anáfora pronominal.

Havia também 30 estímulos controle, em que um DP não pronominal (referencial) aparecia também como argumento do verbo no mesmo ponto em que tínhamos a anáfora pronominal, em versões

5. O efeito *wrap-up* diz respeito ao ponto final de integração de muitos segmentos semânticos que se acumulam ao longo do processamento. Além de promover uma maior lentidão de processamento aos últimos segmentos sentenciais, se a região de interesse coincide com o fim da sentença, é possível que os efeitos específicos sob a região de interesse fiquem mascarados por efeitos *top-down* de entendimento geral da sentença que chega a termo naquele ponto. Portanto, é sempre desejável livrar a região de interesse do efeito *wrap-up* o que se consegue facilmente, por exemplo, acrescentando um adjunto como as últimas palavras da frase estímulo.

congruentes como em (10) e incongruentes, como em (11). A ideia era podermos comparar a seleção do verbo envolvendo a relação anafórica e a seleção do verbo envolvendo argumento semanticamente pleno localmente.

(10) Sem nenhum cuidado, Marcelo foi levantar o pacote da bancada.

(11) Com muita disposição, Rodrigo foi limpar o sabão aos poucos.

As listas de estímulos foram distribuídas em um quadrado latino gerando 4 versões, como mostra a Tabela 2, para garantir que nenhuma palavra, com a exceção de palavras funcionais e expressões adverbiais, fosse repetida dentro de uma mesma versão. Os verbos foram selecionados para terem comportamento default monotransitivo.

	AC	AI	CC	CI
v1	levantar ele (pacote)	consertar ela (banana)	arrumar a gaveta	limpar o sabão
v2	limpar ela (cozinha)	levantar ela (história)	consertar o motor	arrumar o oceano
v3	arrumar ela (gaveta)	limpar ele (sabão)	levantar o pacote	consertar a banana
v4	consertar ele (motor)	arrumar ele (oceano)	limpar a cozinha	levantar a história

Tabela 2: Distribuição dos estímulos seguindo o Quadrado Latino para garantir que não houvesse repetição de nenhuma palavra de casé aberta.

Todas as sentenças tinham de 10 até 12 palavras, apresentadas no experimento em 7 agrupamentos de até três palavras. Sempre o sexto agrupamento continha a anáfora de interesse. Logo, antes do agrupamento de interesse era inserido o trigger que dá a ordem de sincronização com a onda elétrica captada pelos eletrodos do EEG. Ainda foram acrescentados 60 sentenças distratoras. O voluntário tinha a tarefa de julgar a congruência das sentenças, usando o teclado do computador, uma tecla pintada de vermelho era marcação para incongruência e outra tecla pintada de verde marcava a congruência.

2.2. Apresentação dos estímulos

A rotina de apresentação dos estímulos escritos foi desenhada pela professora Aline da Rocha Gesualdi na plataforma C e contou com as seguintes partes e agrupamentos (Ag.) linguísticos apresentados na Tabela 3.

CRUZ	Ag. 1	interv	Ag. 2	interv	Ag. 3	interv	Ag. 4	interv	Ag. 5	interv	Ag. 6	interv	Ag. 7	resposta
+	Alexandra		foi amarrar		o pacote		para		levantar	↓	ele		sem risco	
1500	200	50	200	50	200	50	200	50	200	50	200	50		2000

Tabela 3: Sequência de amostragem do experimento. A seta para baixo indica o momento do trigger; a última linha indica os milissegundos de cada apresentação.

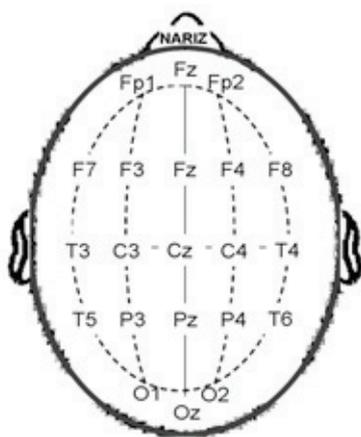


Figura 2: Derivações

2.3. Participantes e sua preparação para o teste

Os participantes foram 21 estudantes da graduação do CEFET/RJ, dos quais 8 eram mulheres, com idades variando entre 18 e 30 anos. Todos eram destros e tinham visão normal ou corrigida para o normal e não reportavam uso corrente de medicamentos psicotrópicos, e nem de terem ingerido drogas ou álcool nas 24 horas que precederam à coleta dos dados.

Utilizamos as dependências do LAPSI, laboratório dedicado à pesquisa e processamento de sinais do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET-RJ (Campus Maracanã) coordenado pela Profa. Aline da Rocha Gesualdi, co-autora deste estudo. Ao chegar ao laboratório, os voluntários assinavam um termo de consentimento livre e esclarecido, após serem informados de detalhes sobre os procedimentos do teste a que eles iriam se submeter.

Depois de obtermos a assinatura do termo de consentimento, iniciávamos a preparação para o teste, que consistia em afixar 21 eletrodos (de superfície de prata), no escalpo do voluntário, utilizando pasta eletrolítica, que auxilia a fixação do eletrodo e a condução da corrente elétrica. Foram colocados ainda dois eletrodos de referência, isto é, eletrodos posicionados sobre a pele acima de tecido não enervado dos lóbulos auriculares. A colocação dos eletrodos nas derivações (Figura 2) seguiu o Sistema Internacional 10-20⁶ (NIEDERMEYERS, SILVA, 1982, p. 123).

A fim de evitar problemas de distorção e interferência no sinal EEG a impedância (oposição passiva total criada ao fluxo natural de uma corrente elétrica) foi mantida em média abaixo de 10 kΩ. Para tal, os locais de fixação dos eletrodos foram adequadamente preparados através da remoção de eventual gordura por abrasão do couro cabeludo, depois da aplicação de uma fina camada de creme eletrolítico.. Esta primeira etapa, de preparação do couro cabeludo e colocação dos eletrodos demorou em média 20 minutos.

O sistema que foi posto em funcionamento para este experimento (Figura 3) foi concebido em blocos, onde cada um era responsável pela execução e controle de uma tarefa específica: (i) preparação dos materiais e voluntários; (ii) estimulação linguística, (iii) aquisição da atividade eletrocortical (as derivações) e, finalmente, (iv) processamento digital do EEG para estimar os ERPs em situação de palavra e não palavra.

6. "O Sistema Internacional 10-20 (Jasper, 1958; Gilmore, 1994) é um padrão internacional de colocação de eletrodos bastante utilizado (...). De acordo com este sistema, os perímetros do crânio são medidos nos planos médio (...) e transversal (...), e as localizações dos eletrodos são determinadas a partir da divisão destes perímetros em intervalos de 10% e 20%. Para a medição dos perímetros médios e transversais do crânio, tomam-se como referência os pontos vertex (Cz), que é o ponto central do crânio, o nasion, que é a reentrância na parte de cima do nariz, nivelando com os olhos, e o inion, que é o ponto central na extremidade do osso occipital, na linha média atrás da cabeça. (...) os eletrodos são colocados distando, um do outro, 20% do perímetro. Entretanto, para se colocarem os eletrodos nas derivações O1 e O2 (occipitais), calcula-se 10% do perímetro médio a partir do ponto inion, e este será o ponto médio entre O1 e O2, do qual cada uma destas derivações distará 10% do perímetro transversal à direita (O2) e à esquerda (O1). E, de forma equivalente, para se colocarem os eletrodos nas derivações FP1 e FP2 (pré-frontais), calcula-se 10% do perímetro médio a partir do ponto nasion, e este será o ponto médio entre FP1 e FP2, do qual cada uma destas derivações distará 10% do perímetro transversal à direita (FP2) e à esquerda (FP1). (...) Este sistema prevê que os dois pontos de referência para aquisição dos sinais bioelétricos, em cada um dos quais é colocado mais um eletrodo, sejam os auriculares (A1 e A2), nos lobos das orelhas, ou os mastóides (M1 e M2), os ossos que ficam logo atrás das orelhas. Isto significa que se assume que não há atividade bioelétrica nestes pontos, sendo então usados como referência elétrica comum a todas as derivações. Deste modo, utilizamos derivações unipolares, ou seja, o potencial de cada eletrodo é comparado com o valor médio dos potenciais nos eletrodos dos pontos de referência. O aterramento é feito através de um eletrodo que fica posicionado no lobo pré-frontal, no centro da testa (FPZ), durante a aquisição dos sinais." (Cf. Lage, 2005, P. 86-87)

No momento da aquisição, os sinais do EEG multicanal são inicialmente amplificados (ganho de 18000) e filtrados analogicamente, usando-se filtragem anti-aliasing (filtro passa-baixa com frequência de corte de 100 Hz) e passa-alta (0,1 Hz). Todas as derivações de EEG são digitalizadas on-line a uma frequência de amostragem de 600 Hz, mediante o uso de um conversor análogo-digital de 12-bit.

A seguir temos a figura do esquema desenvolvido para extração dos ERPs.

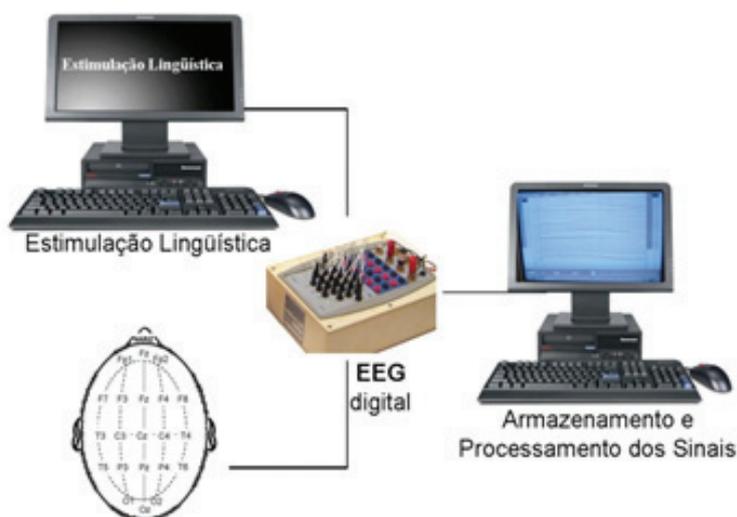


Figura 3– Esquema de extração de ERPs

Depois de ouvir as instruções gerais sobre o teste, informadas pela examinadora, cada voluntário lia na tela as instruções do experimento pormenorizadas e realizava uma seção de treinamento. Esta seção poderia ser repetida até que o voluntário estivesse confortável quanto à tarefa dele requisitada de identificar sentenças incongruentes. Caso não houvesse mais dúvidas, o teste era iniciado e transcorria com a apresentação aleatorizada das duas séries experimentais, duas séries controle e uma série de distratores. Havia pequenos intervalos a cada 40 sentenças, para um eventual reposicionamento dos eletrodos e descanso do voluntário. Era facultada ao voluntário o tempo de pausa antes de prosseguir, mas este tempo nunca excedeu 1 minuto.

2.4. Processamento digital do ERP

O EEG, através do eletroencefalógrafo da EMSA foi adquirido e processado em ambiente EEG-Lab e ERP-Lab, que são plug-ins de Matlab (MathWorks Inc). Primeiramente, o EEG cru é recortado em épocas que vão de -200ms até 800ms. Destas épocas de valor total de 1000ms, removem-se todos os artefatos manualmente, primeiramente através de critério visual e depois através do algoritmo de reconhecimento de padrão ICA (EEG-Lab), a fim de se estabelecer o limiar de rejeição individual de artefato.

A promediação das épocas é feita de maneira a juntar os trechos de cada derivação do EEG pertencentes a uma mesma série. Assim, é possível se estimar um ERP individual para cada derivação de cada

série de um mesmo indivíduo. Com os valores encontrados, são criados arquivos correspondentes às resultantes de cada série, para posterior tratamento estatístico e apresentação gráfica de resultados.

3.4. Tratamento estatístico

O tratamento estatístico utilizado foi o teste ANOVA, ou seja um teste de análise das variâncias, com intervalo de probabilidade de 95%, valor de $P \leq 0,05$. Esta estatística indica o tamanho da diferença entre os grupos, em função do tamanho da variação dentro de cada grupo. Mais especificamente, neste experimento utilizou-se o método rANOVA (repeated measures ANOVA), em que o mesmo sujeito é submetido a condições variadas. O desvio proveniente da variabilidade entre sujeitos é levado em conta, diminuindo a possibilidade de erro. Dessa forma conseguimos aumentar a força estatística, obtendo uma maior chance de encontrar um p-valor baixo. Depois disso, testes pós-hoc para comparar médias par a par foram feitos, tanto TukeyHSD quanto T-test.

Consideramos para análise estatística o intervalo a região de interesse (onde o componente de N400 geralmente é encontrado) de 380 até 480ms. Foram feitas medidas de local peak (instrumento de ERPLAP) que procura no traçado de ERP o pico mais alto (mais negativo) sempre analisando 5 pontos antes e depois de um pico encontrado para ter certeza que se trata de um pico, e não por exemplo, de uma subida na fronteira do intervalo. Os picos foram identificados também nos ERPs de cada sujeito e para cada canal, e a análise foi feita por eletrodo juntando os valores do pico de todos os sujeitos, tratando o sujeito como variável randômica. A medida da latência foi feita a partir do local peak encontrado e analisado estatisticamente da mesma forma.

Uma vez que o p-value é $P \leq 0,05$ se pode rejeitar a hipótese nula de igualdade de médias para qualquer nível de significância. Assim, a ANOVA permite concluir que para qualquer nível de significância, as médias dos vários grupos não são todas iguais, o que quer dizer que existem diferenças significativas no desempenho das variáveis.

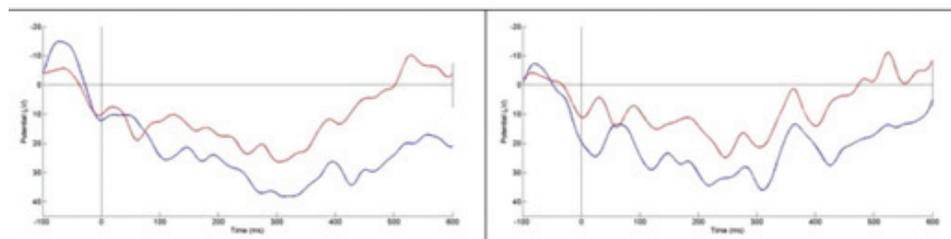
Assim, após os cálculos estatísticos, foram plotados um conjunto de gráficos com os ERPs resultantes de cada comparação. Apresentamos os traçados de ERPs para duas derivações e, abaixo deles, gráficos de barras com os valores de amplitude e latência de várias derivações. Quando as barras se referem a valores estatisticamente relevantes, elas são marcadas por um asterisco, o que significa que a hipótese nula nesses casos pode ser rejeitada.

4. RESULTADOS

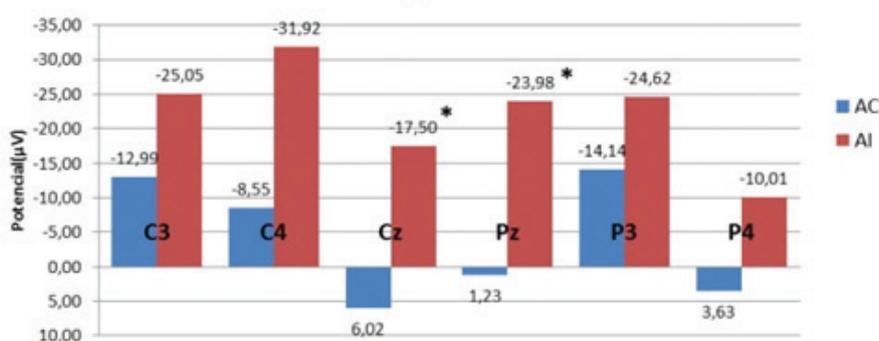
4.1. Comparação entre AC (anáfora congruente) e AI (anáfora incongruente)

AC Alexandra foi amarrar o pacote para levantar ele sem risco.

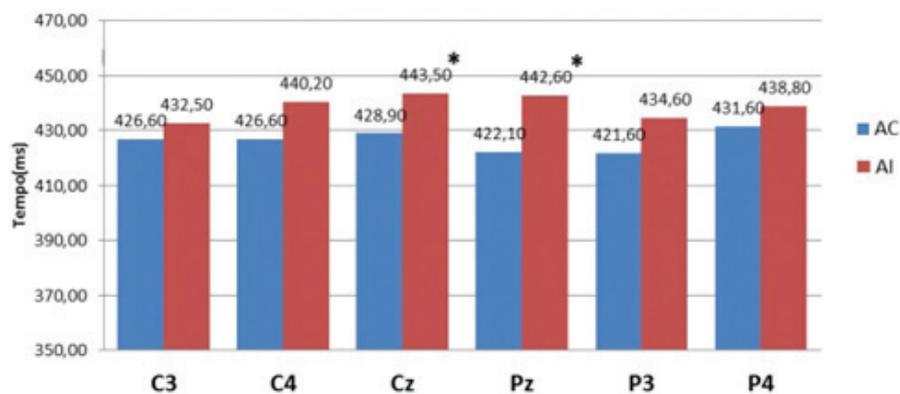
AI Humberto foi esfregar o sabão para limpar ele aos poucos.



Amplitude:



Latência:

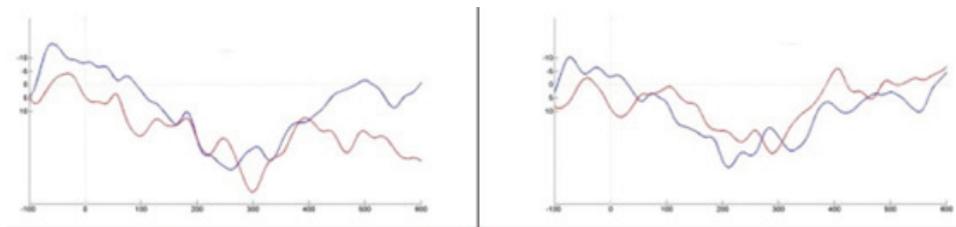


- As anáforas incongruentes tiveram amplitude e latência de onda maior do que as congruentes, ou seja a incongruência fez com que os ERPs fossem mais lentos e mais expressivos em Cz e Pz que são derivações de interesse;
- Esta tendência pode ser aferida mesmo em derivações cujas diferenças não foram estatisticamente relevantes

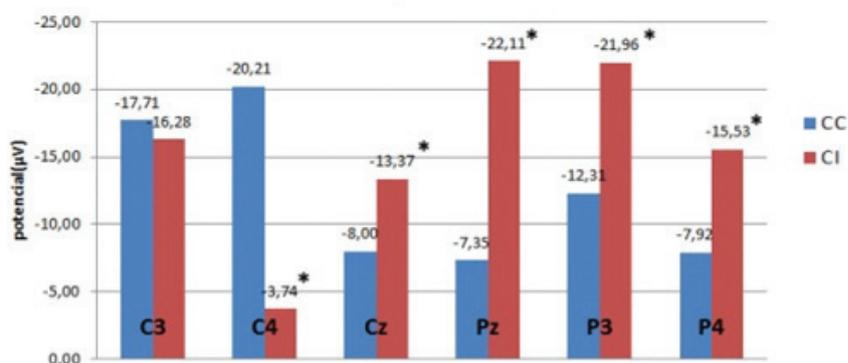
4.2. Comparação entre CC (controle congruente) e CI (controle incongruente)

CC - Sem nenhum cuidado Marcelo foi levantar o pacote da bancada.

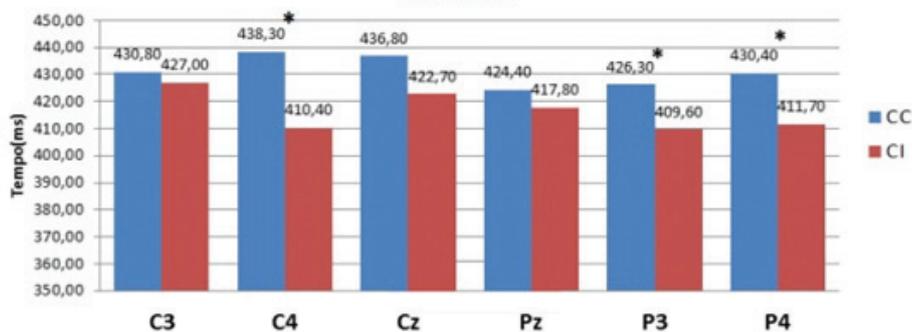
CI - Com, muita disposição Rodrigo foi limpar o sabão aos poucos.



Amplitude:



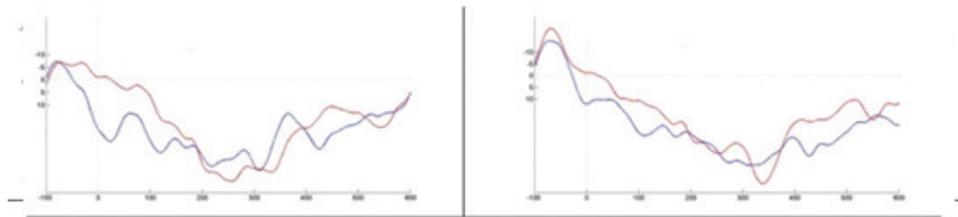
Latência:



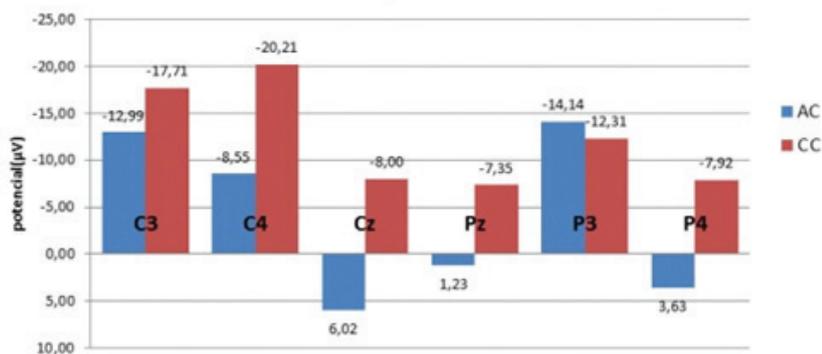
- Assim como nas condições da anáfora, nas sentenças-controle incongruentes, cujos verbos faziam uma seleção local do complemento, a amplitude de onda foi maiores do que nas congruentes, ou seja a incongruência fez com que os ERPs fossem mais expressivos em Cz e Pz que são derivações de interesse, porém as sentenças controle incongruentes foram expressivamente mais rápidas do que as congruentes.

4.3. Comparação entre AC (anáfora congruente) com CC (controle congruente)

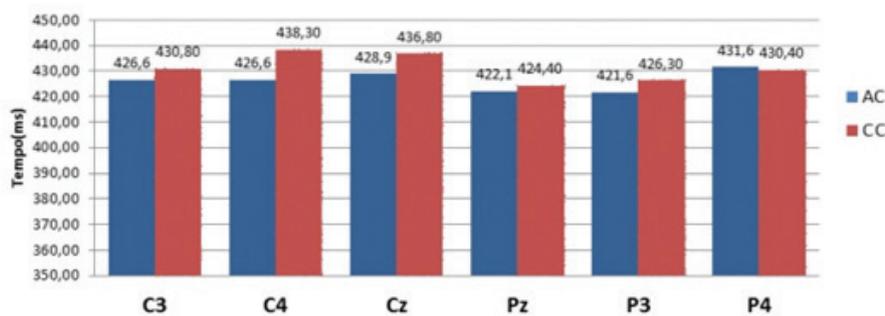
- AC Alexandra foi amarrar o pacote para levantar ele sem risco.
- CC - Sem nenhum cuidado Marcelo foi levantar o pacote da bancada.



Amplitude:



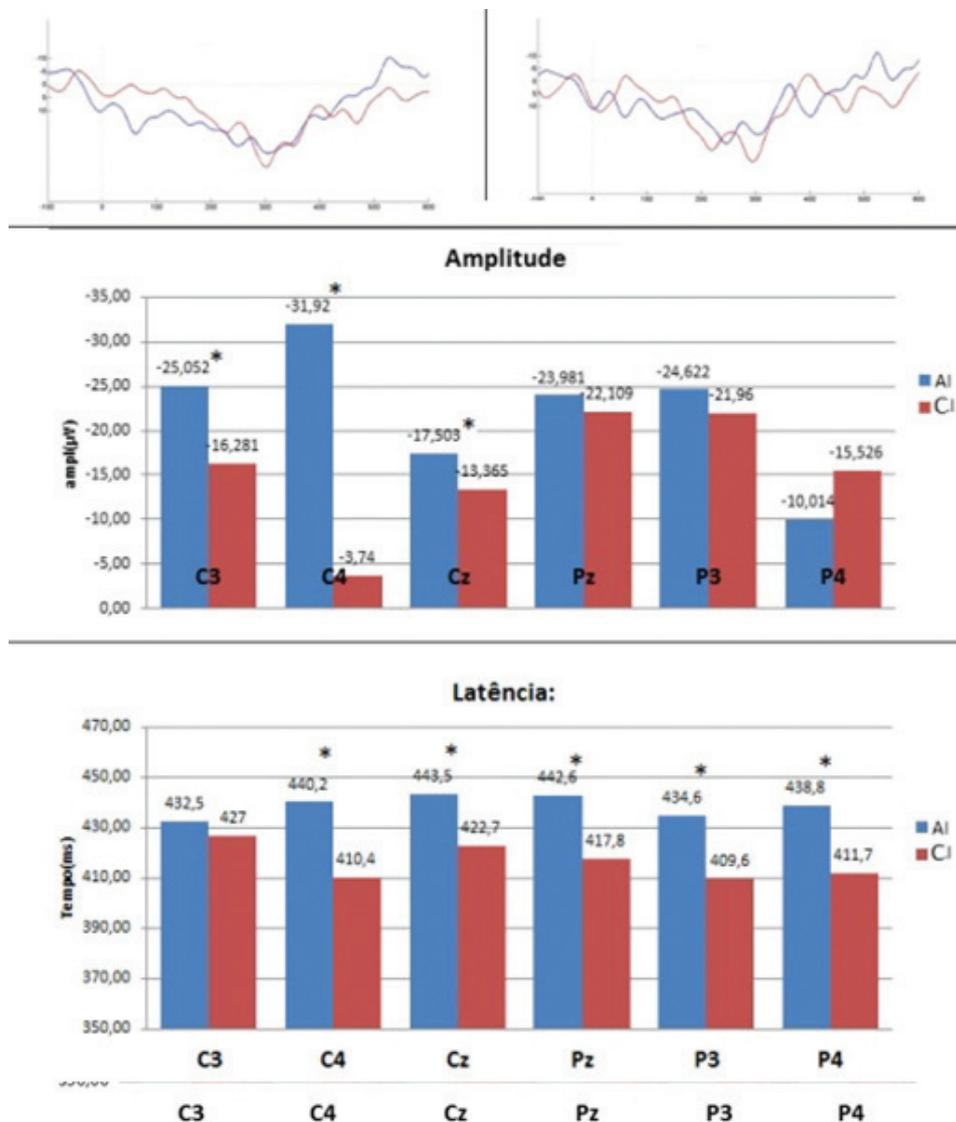
Latência:



- Não houve nenhuma diferença estatística significativa entre as sentenças congruentes nas condições de anáfora pronominal e de controle. As sentenças congruentes de ambas condições mostraram ERPs pouco expressivos em termos de amplitude e aconteceram todos por volta de 430ms em média.

4.4. Comparação entre AI (anáfora incongruente) com CI (controle incongruente)

- AI Humberto foi esfregar o sabão para limpar ele aos poucos.
- CI - Com, muita disposição Rodrigo foi limpar o sabão aos poucos



• Houve diferença estatisticamente relevante entre as sentenças incongruentes nas condições de anáfora pronominal e de controle para todas as derivações centrais, no que diz respeito à amplitude e me quase todas as derivações em relação à latência. Os ERPs relacionados à anáfora são mais expressivos e mais lentos..

5. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

A cognição estudada é a da referência anafórica em que o pronome procura um antecedente fora do domínio de regência da anáfora (Princípio B da Teoria da Ligação). O ponto mais interessante sobre esta cognição é que ela permite que antecedentes no discurso sejam computados como possíveis antecedentes. Tínhamos uma hipótese de que a procura no discurso aconteceria em uma segunda instância, depois de esgotadas as possibilidades de referência com o antecedente sentencial. Ou seja, aventamos a possibilidade de haver uma computação default de processamento da referência anafórica com o antecedente local.

A primeira comparação feita colocou em cheque as duas versões de anáfora: congruentes e incongruentes (AC Vs AI). De uma forma geral, por todas as derivações colhidas ficou patente que as anáforas incongruentes demandam mais esforço cognitivo pois os ERPs são mais lentos e a dificuldade de integração do argumento incongruente provoca amplitudes muito expressivas, características de efeitos fortes por consequência de não concatenação. A medida em que a concatenação é uma computação automática, essencial e sem custo para o processamento, o impedimento a esta cognição causa uma marca de esforço.

A segunda comparação contrastou as duas versões de sentenças controle com seleção local de argumento: congruentes e incongruentes (CC Vs CI). A marca de esforço continua nestas sentenças incongruentes, cujas amplitudes foram maiores do que para as congruentes. Porém, é interessante notar que a latência foi menor com as incongruentes. Este é um resultado esperado, já que a própria constatação da falta de possibilidade de integração local resulta em uma resposta mais rápida e mais ampla. Além disso, estas medidas estão, de certa forma, conectadas. Uma negatividade que começa o seu ciclo negativo precocemente tem mais força para atingir um pico negativo mais alto. E é isso mesmo que acontece com estes ERPs. Se formos comparar com a amplitude das sentenças anafóricas, vemos que as amplitudes das incongruentes não chegam a ser tão amplas quanto as das sentenças incongruentes controle. Então, se o ERP começa a se elevar mais cedo devido à constatação local da incongruência, sendo esta constatação não dependente de memória de trabalho, o ERP pode ter uma negatividade mais expressiva até chegar ao ponto máximo de seu ciclo negativo, quando então deve começar a descer em direção à polaridade positiva.

A terceira comparação que contrasta AC (anáfora congruente) com CC (controle congruente) não se mostra estatisticamente significativa. As manifestações dos parâmetros de latência e amplitude para congruentes são normalmente bastante sutis.

Finalmente a última comparação entre AI (anáfora incongruente) com CI (controle incongruente) traz os resultados mais interessantes. A anáfora incongruente teve as latências mais lentas e as amplitudes mais altas. Isto é o que caracteriza uma onda de base bem aberta e pico obtuso. Esta morfologia de onda já havia sido característica dos achados em França et al (2004). A dificuldade de transcender esta computação para outra, marcada pelo valor de esforço (alta amplitude) e subida lenta (longa latência), pode ser interpretada como uma dificuldade de assumir o segundo valor de plausibilidade para a anáfora pronominal. Se a busca no escopo sentencial falha, há uma alternativa no discurso. Note que para as sentenças controle, a única opção é a interpretação local. Mas com a anáfora pronominal há outras possibilidades. Veja que na sentença exemplo - Humberto foi esfregar o sabão para limpar ele aos poucos – o próprio sujeito da sentença de cima, *Humberto*, poderia ser um bom antecedente.

Porém, os resultados que encontramos mostram uma tendência a focar as possibilidades sentenciais antes de aventar outras opções. Sabemos disso por causa da característica do processamento da incongruência. Ou seja, a possibilidade de olhar no discurso não salva a percepção de incongruência que temos a respeito da sentença.

Assim, poderíamos confirmar a hipótese de que a opcionalidade do Princípio B seja um forte viés favorecendo a procura de um antecedente sentencial. Questões de custo de processamento e de restrições sintáticas podem estar operando e devem ser objeto de novos estudos.

Por fim é importante marcar a sensibilidade do N400 como uma variável dependente para verificar, esclarecer e prever uma gama de computações linguísticas e a consistência da sua morfologia para marcar as formas como se dá a interação de informações on-line dentro e fora do âmbito da sintaxe.

MODULATING THE N400 THROUGH THE SEMANTIC INCONGRUITY ESTABLISHED BY THE PRONOUN-ANTECEDENT RELATION

ABSTRACT

This is an experiment about the anaphoric pronoun-antecedent binding. Volunteers were stimulated by written sentences while being monitored by an EEG hooked to a computer that applied an ERP (event-related brain potential) routine. This electrophysiological technique extracts from the raw EEG electrical waves that are the total summation of all electrical activities relative to a given linguistic event. ERPs related to congruous and incongruous sentences were compared and also contrasted with control sentences. Results point to the direction that volunteers feel a strong bias to deal with incongruous sentences without resorting to discourse alternatives that are expected from the Principle B of the Binding Theory.

KEY WORDS: anaphoric relations, EEG/ERP, language neurophysiology, Principle B of the Binding Theory, semantic incongruity.

REFERÊNCIAS

Büring, D. (2005). *Binding Theory*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.

Chomsky, N. (1981). *Lectures on Government and Binding*. Dordrecht: Foris Publications.

Chomsky, Noam (1982). Some Concepts and Consequences of the Theory of Government and Binding. *Linguistic Inquiry Monograph* 6. MIT Press.

Crain, S.; Pietroski, P. (2002). Why language acquisition is a snap. *The Linguistic Review*, New York, v. 19, n. 1, p. 163-183.

Epstein, Samuel D. (1995). Un-Principled syntax and the derivation of syntactic relations. Ms, Harvard University.

- Epstein, S.D. (1999). Un-principled syntax: the derivation of syntactic relations. In: Epstein, S.D., Hornstein, N. (Eds.), *Working Minimalism*. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 317–345.
- Fox, D. (2000). *Economy and semantic interpretation*. Cambridge: MIT Press.
- França, A. I.; Cagy, M.; Lemle, M.; Constant, P.; Infantosi, A.F.C. (2004). Discriminating among different types of verb-complement merge in Brazilian Portuguese: an ERP study of morpho-syntactic subprocesses. *Journal of Neurolinguistics*, v. 17, n. 6, p. 425-437.
- França, A. I. (2002). *Concatenações linguísticas: estudo de diferentes módulos cognitivos na aquisição e no córtex*. Tese de Doutorado em Linguística. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 235 p.
- Gualmini, A.; Crain, S.; Meroni, L. et al. (2001). At the semantics/pragmatics interface in child language. In: *SEMANTICS AND LINGUISTIC THEORY (SALT)*, 11., 11-13 May 2001, New York: New York University. Proceedings... Ithaca, New York: CLC Publications, Cornell University, 465 p. p. 231-247
- Heim, I., and A. Kratzer (1998). *Semantics in Generative Grammar*. Malden, MA: Blackwell.
- Hornstein, N. Nunes, J. Grohmann, K. (2005). *Understanding Minimalism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980a). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99–116.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980b). Reading between the lines: Event-related brain potentials during natural sentence processing. *Brain and Language*, 11(2), 354–373.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980c). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203–205.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1982). The lateral distribution of event-related potentials during sentence processing. *Neuropsychologia*, 20(5), 579-590.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1983). Event-related brain potentials to grammatical errors and semantic anomalies. *Memory and Cognition*, 11(5), 539-550.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials reflect word expectancy and semantic association during reading. *Nature*, 307, 161-163
- Langacker, R. (1966). “On Pronominalization and the Chain of Command.” In David A. Reibel and Sanford A. Schane, eds., *Modern Studies in English*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, pp. 160–186.
- Niedermeyer, E.; da Silva, F. L. (1998). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 1258 p.
- Poeppel, D.; Wexler, K. (1993). The full competence hypothesis of clause structure in early German. *Language*, Washington, v. 69, n. 1, p. 1-33.

- Reinhart, T. (1999). *The processing cost of reference-set computation: guess patterns in acquisition*. Utrecht: Utrecht University, 23 p. (OTS Working Papers in Linguistics)
- Reinhart, T. (1976). *The Syntactic Domain of Anaphora*. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology. Distributed by MIT Working Papers in Linguistics, Cambridge, Mass.
- Reinhart, T. (1981). Definite NP Anaphora and C-Command Domains *Linguistic Inquiry*. *The MIT Press* Vol. 12, No. 4 pp. 605-635
- Reinhart, Tanya (1983). *Anaphora and Semantic Interpretation*. Chicago: University of Chicago Press.
- Safir, K. (2004). *The syntax of (in)dependence*. Oxford Studies in Comparative Syntax. New York: Oxford University Press. Pp. 328
- Wasow, T. (1972). *Anaphoric Relations in English*. Thesis written in partial fulfillment for the degree of Doctor of Philosophy at the Massachusetts Institute of Technology. Noam Chomsky (thesis supervisor) 198 pages (ms).
- Yang, Charles (1995). *Locality in feature checking*. Term paper, MIT.
- Yang, Charles (1997, to appear). *Minimal Computation: derivation of syntactic structures*. Ms., MIT.