

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

**Neurociência e Educação: investigando o papel da emoção na
aquisição e uso do conhecimento científico**

Guilherme Brockington

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Neurociência e Educação: investigando o papel da emoção na aquisição e uso do conhecimento científico

Guilherme Brockington

Tese apresentada à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Educação.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientador: **Prof. Dr. Maurício Pietrocola**

São Paulo

2011

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

375.21 Brockington, Guilherme
B864n Neurociência e educação : investigando o papel da emoção na aquisição e uso do conhecimento científico / Guilherme Brockington ; orientação Maurício Pietrocola. São Paulo : s.n., 2011.
199 p. : il., graf.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Educação. Área de Concentração : Ensino de Ciências e Matemática) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo)

1. Física - Ensino 2. Neurociências 3. Emoções 4. Aquisição do conhecimento 5. Ensino médio. I Pietrocola, Maurício, orient.

Para Aline Coletti, por ter dado cor aos meus dias e por ter me feito perceber que são as emoções que dão sentido à vida. Sem você a vida se torna puramente racional, sem sabor e cinza.

Resumo

Nos últimos anos, o interesse acerca da compreensão dos funcionamentos do cérebro e da mente teve um crescimento vertiginoso. A Neurociência foi capaz de fornecer um novo entendimento acerca de diferentes processos cognitivos e desvendar as propriedades neurais que dão suporte à linguagem, ao entendimento aritmético, à realização de cálculos etc. Tais avanços são ainda pouco conhecidos e, por consequência, pouco utilizados pelos pesquisadores em Educação.

Nesta pesquisa estabelecemos um diálogo efetivo entre a Educação e a Neurociência Cognitiva ao investigar uma questão ainda em aberto no Ensino de Ciências: a persistência das concepções espontâneas em Física. Combinamos o arcabouço teórico-metodológico da Neurociência com testes tradicionais em Ensino de Física, que foram validados e vem sendo utilizados há mais de três décadas em pesquisas na área. Especificamente, investigamos se diferentes padrões de respostas psicofisiológicas associadas a reações emocionais estariam vinculados a diferentes formas de representação de situações e fenômenos do mundo físico.

Assim, investigamos as repostas de condutância galvânica da pele geradas em Experts (físicos e engenheiros) e Novatos (estudantes sem formação científica) ao responderem questões de Física e Controle (Matemática básica). Nossos resultados revelaram que os dois grupos apresentaram padrões de respostas emocionais bastante diferentes para os dois tipos de conteúdo.

Nossos resultados permitem avançar no entendimento do papel das emoções na tomada de decisão de estudantes em testes tradicionais de levantamento de concepções alternativas, revelando possíveis influências de elementos emocionais na persistência destas concepções.

Desta forma, estabelecemos uma nova abordagem de pesquisas em Educação Científica abrindo novas possibilidades de entendimento do processo de ensino e aprendizagem.

Abstract

In the last years the interest on the understanding of the brain and mind grew extremely. The Neuroscience was able to provide a new understanding of different cognitive processes and unravel the neural properties that support language, arithmetic understanding etc. Such advances are still poorly understood and, consequently, little used by researchers in Education.

This research established an effective dialogue between Education and Cognitive Neuroscience investigating a matter still open in Science Education: the persistence of misconceptions in Physics. We combine the theoretical and methodological approach used in neuroscience with traditional tests in Physics Teaching, which have been validated and has been used for more than three decades in research in the area. Specifically, we investigated whether different patterns of psychophysiological responses associated with emotional reactions were linked to different forms of representation of the physical world situations and phenomena.

Thus, we investigated galvanic skin conductance responses generated in Experts (physicists and engineers) and Novices (students without a scientific background), to answer questions from Physics and Control (Basic Mathematics). Our results revealed that both groups showed patterns of emotional responses quite different for the two types of content.

Our results allow the understanding of the role of emotions in decision making of students in traditional tests of misconceptions, revealing possible influences of emotional factors in the persistence of these conceptions.

Thus, we established a new approach to research in Science Education by creating new possibilities for understanding the process of teaching and learning.

Sumário

Agradecimentos	5
Apresentação	5
Capítulo I – Neurociência e Educação: um diálogo necessário	5
1.1 - Introdução	5
1.2 - Neurociência e Educação: conexões	5
Capítulo II – O Ensino de Ciências e as Emoções	5
2.1 - Identificando o problema	5
2.2 - O modelo de Mudança Conceitual e o Conflito Cognitivo	5
2.3 - Emoção e Afetividade no Ensino de Ciências	5
Capítulo III – Neurociência das emoções	5
3.1 - “O que te emociona?”	5
3.2 - Cognição X Emoção	5
3.3 - Cognição e Emoção	5
3.4 - O que é uma emoção?	5
3.4.a - Dois importantes modelos	5
3.4.b - O erro de Descartes	5
Capítulo IV – Metodologia de Pesquisa	5
4.1 - Educação: onde nascem nossas questões	5
4.2 - Neurociência: onde emergem nossas respostas	5
4.3 - Referencial teórico-metodológico: Damasio e a concepção alternativa de Descartes	5
4.3.1 - O que é a condutância da pele?	5
4.3.2 - A hipótese do marcador somático	5

4.3.3 - O teste empírico: o Iowa Gambling Task	6
4.3.4 - Elaborando uma explicação	6
4.4 - O que foi medido e como medimos	6
4.5 - Objetivos e questões	6
4.6 - Uma particularidade nas RCP relacionadas ao desenho experimental proposto	6
4.7 - O Experimento	6
4.7.1 - Os Sujeitos: Experts e Novatos	6
4.7.2 - Procedimentos	6
4.7.3 - As questões	6
4.7.3.a - As questões controle	6
4.7.3.b - As questões de Física	6
4.8 - O método de coleta e análise	6
4.9 - O que foi coletado e analisado	6
Capítulo V – Análise dos Dados	6
5.1 - Análise e discussão parcial	6
5.2 - A performance dos sujeitos no teste	6
5.3 - A análise estatística e discussão parcial	6
5.4 - Discussão Geral	6
Conclusão	6
Bibliografia	6
Anexos	6

Índice de Figuras e gráficos

Figura 1 - Imagens de animais expressando emoções	68
Figura 2 - Imagem de um homem expressando horror	69
Figura 3 - Fotos de um homem expressando alegria, tristeza, raiva e aversão	70
Figura 4 - Reconstituição do acidente com Phineas Gage	73
Figura 5 - Diagrama com os passos envolvidos no processo de tomada de decisão	92
Figura 6 - Médias das RCP antecipatórias	98
Figura 7 - O intervalo de tempo entre duas escolhas consecutivas no IGT	99
Figura 8 - Reprodução da tela vista pelos sujeitos no momento de escolherem a resposta a pergunta feita no teste	105
Figura 9 - Ilustração do método usado para calcular a área sob a curva, delimitada pelo sinal da RCP e a corda que une o intervalo utilizado para efetuar a medida	109
Figura 10 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando sujeitos apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste	115
Figura 11 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando Experts apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste	117
Figura 12 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando Físicos e Engenheiros apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste	119
Figura 13 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando Novatos apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste	121
Figura 14 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando sujeitos estão respondendo às questões do teste	122
Figura 15 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando Experts estão respondendo às questões do teste	123
Figura 16 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando Novatos estão respondendo às questões do teste	124

Figura 17 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, dos sujeitos apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste 125

Figura 18 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, dos Experts apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste 127

Figura 19 - Magnitude média da RCP, em $\mu\text{S/s}$, dos Novatos apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste 128

Figura 20 - Valores médios da intensidade das RCP de cada sujeito, durante a condição “Conhecendo” 134

Agradecimentos

Nietzsche, em *Assim falou Zaratustra*, disse que: “*De todo o escrito só me agrada aquilo que uma pessoa escreveu com o seu sangue. Escreve com sangue e aprenderás que o sangue é espírito.*” As palavras que escrevo agora são dirigidas àqueles que me conhecem o suficiente para saber que tudo o que faço está impregnado com meu sangue. Este agradecimento é muito mais do que uma formalidade ou um gesto de polidez. É uma tentativa parca de demonstrar às pessoas que estiveram comigo durante esta caminhada o quão importante foram, são e serão em minha vida como pesquisador e, principalmente, como ser humano.

Mais difícil do que a construção de um texto acadêmico, cujo objetivo é convencer uma comunidade bastante peculiar de que suas ideias não são tão loucas quanto parecem ser, é representar em palavras a profusão de sentimentos e emoções despertados por pessoas que talvez nem desconfiem do papel tiveram durante a elaboração desta pesquisa. Este trabalho é o final de uma difícil e complexa etapa de minha vida como educador e o início de uma nova aventura. Como dito por Riobaldo, talvez o meu maior filósofo: “*o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia*”... são para esses incansáveis amigos que durante todo esse tempo me fizeram companhia, acreditaram em minhas loucas ideias e me deram forças durante essa travessia que entrego aqui meu sangue, meu espírito, meu eterno agradecimento.

Agradeço, então, a todos os companheiros do LaPEF que me conhecem há anos e acompanham de perto minha trajetória. Obrigado por tudo.

Talita, você me fez perceber da maneira mais delicada possível o que é “sentir falta” de alguém. Sua ausência foi dolorosamente sentida. Sua tranquilidade, suas palavras de carinho e compreensão e, principalmente, sua risada foram inspiração e força nos momentos difíceis. Agora, iremos rir e trabalhar juntos. Obrigado.

Renata, obrigado por ter sempre demonstrado tanto cuidado e carinho comigo. Seu jeito doce e delicado ao se despedir de mim quando estava prestes a viajar foi de

uma importância enorme e trouxe-me a certeza de que estava entre amigos de verdade. Obrigado.

Lúcia, o que sinto por você chegou a um ponto onde a palavra não alcança. Impossível demonstrar minha gratidão, meu respeito, meu carinho. Sem você, eu não teria chegado.

Ivã, você me mostra que a amizade de verdade é imune ao tempo. Ainda que distantes, sempre sei que tenho meu irmão em São Paulo. Obrigado pela força.

Thaís, você sempre me trouxe calma com sua alegria e alto astral. Suas palavras de incentivo e positividade foram determinantes. Obrigado.

Estevam e Max, impossível separar a dupla que me acompanha desde sempre nas travessias mais loucas. Minha história não existe sem vocês, e, hoje, com certeza, não estaria aqui escrevendo estas palavras. Meu eterno e sincero agradecimento.

Agradeço aos amigos que fiz em Natal e que foram vitais quando resolvi adentrar de vez a Neurociência.

Sidarta, você foi o elemento catalisador de minha aventura na Neurociência. Mais do que um brilhante pesquisador, revelou-se um ser humano incrível que me fez ter certeza de que é possível fazer pesquisa com paixão e de que a emoção é um elemento fundamental da criação científica. Obrigado por me mostrar, com seu exemplo, que é possível seguir um sonho.

Aos meus “amigos de infância”:

Dudu, obrigado por nossas loucas e inspiradoras conversas sobre Ciência, a Vida e tudo o mais. É nós!

Tati, você virou minha amiga de infância antes mesmo de te encontrar. Conhecê-la foi como ganhar de Natal aquele presente incrível que torna a vida mais bonita. Obrigado.

Japa, minha ninja preferida! Com suas habilidades milenares rompeu meu campo de força e me despertou o desejo de querer ser seu amigo de infância. Você é um doce! Adoro você, japinha foda!

Ká, o que dizer para alguém como você? Como agradecer tanto cuidado e atenção? Como demonstrar tanta admiração e respeito? Você foi imprescindível nos meus momentos mais difíceis e teve a grandeza de sempre estender as mãos para um semidesconhecido. Sinto-me honrado por ser seu amigo e, sem a menor dúvida, conhecê-la foi o melhor prêmio que ganhei durante essa travessia. Agora, fala a frase!!! Obrigado.

Serginho, rapaz, você é o cara! Nossa amizade foi uma das melhores coisas que me aconteceu. Ao seu lado, a vida sempre é uma festa! Obrigado por tudo.

Manuela, seu sorriso é fonte de alegria e tranquilidade. Minha pré-adolescente maravilhosa, que o tempo todo me ensina como olhar a vida da maneira mais bela possível. Obrigado por tanto carinho, dedicação e, principalmente, tanta cumplicidade. Obrigado por entrar em minha vida e me permitir ter entrado na sua.

Hellen, acredito que não saiba o quanto você foi importante durante todo esse tempo. Nunca esquecerei nossas conversas e risadas em Natal. Obrigado por tudo.

Cuité, meu irmão, meu exemplo e meu guia. Obrigado por nunca me deixar sozinho e por me mostrar que nossa luta vale a pena e que honestidade, dignidade e honra não tem preço. Dê um beijão nas meninas!

Angela, diante de tanto amor, me calo, pois dividimos a mesma alma.

Mariana, sagaz nada normal... para sempre dançaremos juntos nosso forró! Obrigado por sempre me ouvir, me trazer paz, forças e tranquilidade.

Aline, você foi a paz nos meus momentos de angústia, a certeza nos meus momentos de dúvida e a esperança nos meus momentos de solidão. Hoje, sem você, tudo é deserto.

Aos meus eternos amigos em Los Angeles:

Peter and Terre, it's impossible to describe what I'm felling now when I remember my days in your house. The way we treated me brought all the peace I needed and I always felt as I was at home. You both never let me feel I was alone. Thanks! You're incredible!

Nicolo e Nikko, Ragazzi, grazie di tutto. È impossibile riconoscere quello che avete fatto per me ed è impossibile dire tutto quello che sento. Siamo stati insieme per quasi un anno e voi siete diventati parte di me e, naturalmente, “siete venuti a vivere nel mio cuore” (questa frase è abbastanza gay, il che significa che sono davvero diventato italiano!). Grazie perché in fondo lo squadrone siamo noi! Life could be perfect!

Mary Helen and Professor Antonio Damasio, without you both this thesis would be impossible to be done. Thank you for put so much faith on me and on my research. Thank you for all patience and kindness. There's no way to thank you for transformed me in a kind of neuroscientist.

Agradeço a minha família maravilhosa. Minhas tias e primos que me dão carinho e suporte.

Sydney, obrigado por me ensinar que sem tumulto jamais viveremos! Ainda que longe, você sempre está comigo, meu irmão.

Aos meus pais, que me fizeram o sonhador que sou e que sempre estiveram presentes me dando forças e energia para tornar meus sonhos reais. Obrigado.

Mais do que orientador, você, Maurício, foi sempre um amigo e companheiro. As pesquisas terminam, os assuntos mudam, os ensinamentos se transformam. Entretanto, sua orientação sempre estará comigo, pois, mais do que um aluno, você ajudou a formar um homem, um ser humano e um educador. Meus mais sinceros e profundos agradecimentos. Valeu!

E, uma vez mais, agradeço a Ele por continuar não sendo uma hipótese *ad hoc*.

Apresentação

Eu quase que nada não sei. Mas desconfio de muita coisa.

Guimarães Rosa

A primeira vez que falei sobre meu trabalho, com alguém de fora da minha área de pesquisa, foi em um domingo, em uma ilha no sul da Califórnia, em uma conversa com um amigo que estava em Los Angeles fazendo seu pós-doutorado em astrofísica. Falávamos sobre as dificuldades de se aprender Ciências e sobre o conhecido terror que as pessoas sentem quando falam de Física. Então, contei a ele sobre meu projeto de pesquisa.

Expliquei-lhe sobre as concepções intuitivas, uma espécie de Física forjada em nossas experiências diárias e que acaba por nos conduzir a respostas equivocadas e representações intuitivas sobre os fenômenos naturais; falei sobre os diferentes resultados de pesquisas em Educação em Ciências, que revelam que tais concepções são muito difíceis de serem abandonadas e que até mesmo físicos em nível universitário cometem erros quando submetidos a testes que fazem uso destas concepções. E, entusiasmado, falei sobre minha hipótese geral, de que existe um vínculo emocional com o conhecimento científico e que, assim, eu iria usar a Neurociência para investigar o papel da emoção na aceitação e uso desse conhecimento.

Ele, que ouvia atentamente meu discurso, olha e diz: “Guilherme, meu amigo, sinto em te dizer, mas se um cara diz que uma pedra pesada cai mais rápido do que uma pedra leve é simplesmente porque ele não sabe Física”.

Passei mais meia hora relatando resultados de pesquisa na área, contando minhas inúmeras experiências como professor, dizendo que vi alunos brilhantes ficarem frustrados ao cometerem erros aparentemente simples ao responderem questões desta natureza, enfim, tentei de todo modo convencê-lo de que este é um problema sério para a Educação e de solução nada trivial.

Ele, então, encerra nosso diálogo: “Besteira. O cara não sabe nada de Física. Esse negócio de concepção alternativa não existe... o cara precisa é estudar mais. Simples assim.”

Optei por relatar esta estória no início desta tese para que o leitor entenda a dificuldade que encontramos ao realizar esta pesquisa. O problema investigado, por si só, traz dúvidas para quem não trabalha em educação científica e, mesmo dentro da área, nossa compreensão sobre ele não avançou muito nas últimas duas décadas.

Junta-se a isso, o objetivo maior desta tese, que é apresentar uma conexão factível e produtora entre duas áreas tão distintas em seus modelos teóricos e, principalmente, em suas metodologias de pesquisa: Ensino em Ciência e Neurociência Cognitiva. E isto porque, de maneira geral, ainda que pertencentes a campos diferentes, educadores e neurocientistas se encontram em um grande ponto de contato, que é a busca pela compreensão de como se dá a construção do conhecimento.

Mais do que encontrar os resultados que confirmem nossas hipóteses, este trabalho busca validar uma metodologia, um novo caminho para o tratamento de questões que são importantes à Educação em geral e ao Ensino de Ciências em particular.

Por tratar-se de um trabalho inovador, e que se encontra na interface de dois diferentes campos científicos, foi necessário que esta pesquisa estivesse validada em ambas as áreas: Ensino em Ciência e Neurociência Cognitiva.

Assim, nos últimos três anos venho aprofundando e tenho me dedicado exaustivamente ao estudo da Neurociência, o que me levou a cursar diferentes disciplinas de graduação e pós-graduação na USP, a fim de estruturar meu projeto de pesquisa. Em 2008, graças a este projeto, fui um dos 50 classificados, escolhido entre alunos de pós-graduação de todo o Brasil, para a 1ª Escola de Altos Estudos em Neurociências, no Instituto Internacional de Neurociências de Natal. Durante dois meses, tive a oportunidade de conhecer trabalhos de ponta em Neurociências e travar contato com pesquisadores internacionalmente reconhecidos na área. Tal experiência foi crucial para perceber que esta pesquisa seria, então, factível. Ao final de 2008,

apresentei meu projeto ao neurocientista Antonio Damasio, referência em Neurociência das Emoções, e, após um período de discussão, recebi o convite para o estágio de um ano no *Brain and Creativity Institute*, laboratório de Neurociências situado em Los Angeles dirigido por este pesquisador. Este convite transformou-se em um pedido de bolsa de estágio sanduíche ao CNPq, que foi então contemplado, permitindo meu trabalho neste laboratório até o final de junho de 2010. Devido a problemas técnicos encontrados na realização do experimento, voltei ao mesmo laboratório em outubro daquele ano, permanecendo por lá até o final de janeiro de 2011, desta vez a convite do instituto, dado a potencialidade dos dados obtidos inicialmente.

O desafio inicial foi criar um desenho experimental de um problema que fosse passível de ser tratado cientificamente, se apropriando do suporte teórico-metodológico da Neurociência, e que, ao mesmo tempo, pudesse ser significativo para ser aceito na área de Ensino de Ciências. A opção adotada foi focalizar em uma questão antiga da área de ensino, qual seja a persistência das concepções intuitivas em Física. Ainda que extensamente estudado, este tema se constitui um problema em aberto para os educadores de Ciências.

Assim, é necessário que fique muito claro para o leitor o fato de as perguntas que guiam esta pesquisa serem, inevitavelmente, aquelas que nascem no ambiente educacional. Diferentemente das pesquisas em Neurociência, as variáveis associadas aos fenômenos educacionais não são bem definidas. Os problemas tratados na Educação têm um grau de complexidade inerente a este campo, que é uma amálgama de elementos pertencentes ao contexto social, econômico, cultural, biológico etc. A sala de aula, em última instância o laboratório de um Educador, onde surgem nossas questões e onde testamos nossos modelos, está longe de ser tratada de maneira controlada como se faz nos experimentos em Neurociências.

Durante as reuniões com os pesquisadores do grupo em Los Angeles, ficou clara a dificuldade de se compatibilizar as metodologias de duas áreas tão distintas. É preciso ressaltar dois aspectos mais prementes desta dificuldade: um deles, metodológico e o outro, prático.

O problema metodológico diz respeito à adequação do desenho experimental ao uso das tecnologias utilizadas comumente em pesquisas de Neurociência. Como as exigências técnicas não são poucas (como a escala de tempo, tipo de estímulo, comportamento do sujeito durante o teste etc.), desenhar um experimento que seja capaz de responder uma pergunta complexa da área de Ensino e, ao mesmo tempo, seja possível de ser testado usando estas tecnologias, é extremamente complicado.

Em face a essas dificuldades técnicas, grande parte das tentativas de pesquisa de cunho educacional, que utilizam os métodos de pesquisas em Neurociência, acaba sendo totalmente artificial. Isto porque a metodologia usada nesta área obriga, necessariamente, que haja uma limitação aos tipos de questões a serem investigadas, acabando por eliminar grande parte dos elementos envolvidos em uma situação real de um processo de ensino/aprendizagem, conduzindo, assim, a resultados incertos para área de educação científica.

Questões como: "Como as pessoas reconhecem os números?" são mais fáceis de serem investigadas, pois, a criação de estímulos e tarefas que podem ser controladas e contrastadas é razoavelmente simples. Tratar uma pergunta como: "Como os indivíduos compreendem grandezas matemáticas abstratas, como infinito?" envolve uma série de fatores que não podem ser separados facilmente durante o ensaio experimental. Logo, encontrar o meio de utilizar a Neurociência para obter respostas efetivamente válidas para a Educação é uma tarefa complexa e nada trivial.

O problema prático diz respeito aos recursos financeiros envolvidos. Por tratar-se de um trabalho inovador, e baseado em outra área do conhecimento, foi extremamente difícil viabilizar financiamento para uma pesquisa desta natureza. A utilização de ressonância magnética, tecnologia corriqueiramente utilizada em investigação sobre o funcionamento do cérebro, tem um custo elevado. Além disto, ainda não se pode dizer, com clareza, o que os resultados, com o uso desta metodologia para investigar questões de Educação, podem gerar. Assim, a opção foi buscar outra forma de teste empírico, válido para pesquisas em Neurociência, e que fosse, ao mesmo tempo, capaz de fornecer respostas adequadas ao ambiente educacional e financeiramente factível.

Assim, como a escolha de utilizar o arcabouço teórico sobre as emoções, desenvolvido por Damasio, já havia sido tomada, a coleta de padrões psicofisiológicos para testar nossas hipóteses surgiu como a metodologia mais natural a ser utilizada. Optamos, então, por coletar as respostas emocionais relacionadas a mudanças na condutância da pele dos sujeitos. Esta medida é conhecida por "quantidade de afeto": parâmetro fisiológico bastante confiável, facilmente detectado e medido, permitindo que a emoção seja investigada em laboratório. Desta forma, conseguimos combinar instrumentos oriundos de pesquisas em Ensino de Física com metodologias e teorias comuns da Neurociência, iniciando o diálogo que será exposto nesta pesquisa.

Esta tese foi estruturada de modo a apresentar, no Capítulo 1, as possíveis relações entre Neurociência e Educação, destacando resultados de pesquisas recentes nessa interface e que tem relevância no Ensino de Ciências. No Capítulo 2, evidenciamos o problema que originou essa tese, discutimos a ideia de mudança conceitual e conflito cognitivo e apresentamos como a emoção é tratada no Ensino de Física. Já no Capítulo 3, apresentamos como a Neurociência trata a emoção e investiga o tema, de onde irão emergir nossas respostas. A metodologia de pesquisa, o referencial teórico e a descrição do experimento encontram-se no Capítulo 4. Finalmente, apresentamos a coleta, análise dos dados e conclusões no Capítulo 5.

Esta tese situa-se na interface entre Neurociência e Educação e apresenta as dificuldades intrinsecamente envolvidas na complexidade desta relação. Ao mesmo tempo, ela apresenta um novo caminho de pesquisa para a Educação e traz resultados significativos e importantes para o Ensino de Física.

Contudo, é preciso deixar claro que não buscamos ser prescritivos, tampouco estamos insinuando que as pesquisas em Educação precisam ser reformuladas. O que apresentamos é um olhar diferente, o emprego de uma nova metodologia, distinta daquelas a que se estão acostumados; porém, válida e eficaz para aumentar nossa compreensão sobre diferentes problemas envolvidos na aprendizagem de Ciências.

Finalizando este texto de apresentação, narro aqui o final da estória que utilizei na abertura desta seção.

Horas depois da conversa que tive com meu amigo, resolvemos alugar um caiaque e margear a costa da ilha onde estávamos. Em um determinado momento, foi necessário que virássemos o caiaque para a esquerda, pois havia um pequeno barco em nossa direção. Sentado na frente da embarcação, o astrofísico começa a remar vigorosamente para a esquerda... Atônito, ao ver o barco rumando para um paredão à nossa direita, ele para de remar, coloca o remo sobre o caiaque, olha para trás e, com um sorriso admirado diz: “É... acho que essas concepções intuitivas existem mesmo.. Quem diria, acabo de provar para mim mesmo que ou eu não sei nada de Física ou elas existem de verdade... E Física, bem, isso eu acho que sei um pouquinho.”

Assim, espero que este texto seja como uma versão deste episódio aqui relatado. Aguardo as dúvidas, críticas e desconfianças inerentes quando se coloca em contato áreas tão distintas. E creio que, ao final, o leitor também se surpreenda com um sorriso admirado ao se deparar com os objetivos e com os resultados desta pesquisa.

Capítulo I – Neurociência e Educação: um diálogo necessário

The principle goal of education is to create men who are capable of doing new things, not simply of repeating what other generations have done - men who are creative, inventive and discoverers.

Jean Piaget

1.1 - Introdução

Há décadas que estudos sobre Educação buscam compreender e elucidar os complexos e intrincados processos de ensino-aprendizagem. Paralelamente, os mecanismos de aquisição e conservação do conhecimento fascinam pesquisadores em diferentes áreas, como filósofos, epistemólogos, psicólogos, sociólogos e médicos. De maneira geral, os educadores estão sempre em busca de estratégias que possibilitem uma real e significativa aquisição do conhecimento apresentado aos alunos.

No Ensino de Ciências, este desafio torna-se ainda maior, visto que é necessário criar condições nas quais os estudantes possam utilizar este conhecimento, altamente abstrato e especializado, para re-interpretarem e agirem sobre o mundo que os cerca. Com isso, muitas pesquisas na área de educação científica buscam encontrar elementos que permitam elaborar estratégias de ensino capazes de desenvolver nos estudantes uma postura reflexiva, valendo-se dos conhecimentos científicos em situações intrigantes e próximas dos fenômenos reais, a fim de que eles sejam capazes de compreender o universo em que vivem (Fourez, 1995; Astolfi, Develay *et al.*, 2005).

Esse cenário implica a necessidade da compreensão dos processos de construção do conhecimento em situações de ensino-aprendizagem, principalmente em sala de aula, bem como dos condicionantes para que os estudantes os incorporem em sua estrutura interpretativa.

Na última década, o interesse acerca da compreensão dos funcionamentos do cérebro e da mente teve um crescimento vertiginoso. Os métodos modernos de

psicologia, ciências cognitivas e comportamentais, e neurobiologia têm produzido um vasto corpo de conhecimento interdisciplinar que permite aprofundar o entendimento sobre as formas de aquisição e apreensão do conhecimento. Sendo assim, a Neurociência, ramo intrinsecamente multidisciplinar em pesquisas científicas, tornou-se uma área fundamental para a compreensão das relações do ser humano com o mundo natural e social (Changeux e Ricoeur, 2000; Gazzaniga, Ivry *et al.*, 2002; Gazzaniga, 2004; Gazzaniga, Ivry *et al.*, 2007).

Atualmente, a Neurociência Cognitiva fornece um novo entendimento acerca de diferentes processos cognitivos e desvenda as propriedades neurais que dão suporte à linguagem, ao entendimento aritmético, à realização de cálculos etc.(Dehaene, Kerszberg *et al.*, 1998; Temple e Posner, 1998; Fitch, 2000; Röder, Rösler *et al.*, 2000; Shaywitz, Shaywitz *et al.*, 2002; Dehaene, Piazza *et al.*, 2003; Heim, Eulitz *et al.*, 2003; Pallier, Dehaene *et al.*, 2003; Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier *et al.*, 2008; Izard e Dehaene, 2008).

Métodos não invasivos como medidas psicofisiológicas (alterações fisiológicas relacionadas a processos cognitivos emocionais, como mudança na frequência cardíaca ou aumento da produção das glândulas endócrinas), formação de imagens por Ressonância Magnética funcional (IRMf), Tomografia por Emissão de Pósitron (TEP) e Eletroencefalografia (EEG) vêm sendo utilizados para investigar e perscrutar o cérebro, mudando antigas concepções sobre diversas funções cognitivas, com implicações importantes para a Educação (Goswami, 2004; 2006; Goswami e Bryant, 2007; Odec, 2007; Szucs e Goswami, 2007).

Os conhecimentos na área das Neurociências, principalmente a partir da tecnologia de neuroimagem, ampliaram a compreensão sobre o funcionamento de diferentes processos cognitivos, em especial a aprendizagem. Por exemplo, estudos recentes revelaram que o ato de aprender está acompanhado de diferentes modificações cerebrais. Segundo tais pesquisas, as atividades das redes neurais influenciam e guiam os modelos de cognição (Temple e Posner, 1998; Posner e Rothbart, 2005; Szucs e Goswami, 2007).

Desta forma, compreender estes modelos pode conduzir a um melhor e mais profundo entendimento dos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem. Neste contexto, entende-se a aprendizagem como o fortalecimento ou enfraquecimento das conexões neuronais, as quais têm seus padrões conectivos alterados a todo o momento em resposta aos estímulos externos, às nossas percepções, pensamentos e ações (Gazzaniga, 2000; Kandel, 2000; Roder e Neville, 2003; Gazzaniga, 2004; Gisiger, Kerszberg *et al.*, 2005).

Assim, o entendimento de algumas funções cognitivas, como atenção e memória, por exemplo, tem crescido a cada ano. Com o uso da IRMf, pode-se estudar o cérebro humano trabalhando *in vivo*, de modo que processos complexos subjacentes à fala, linguagem, pensamento, raciocínio, leitura e uso da matemática tornam-se cada vez mais conhecidos.

Tais avanços, entretanto, são ainda pouco conhecidos e, por consequência, pouco utilizados pelos pesquisadores em Educação. Uma busca em sites de pesquisas científicas, como Medline, SciSearch, Pubmed e PsychInfo mostraram que o número de publicações que envolvem aplicações de neurociências em educação é praticamente inexistente (Bruer, 1997; 2002; 2006)¹. Enquanto se percebe uma dificuldade em materializar nas salas de aula as descobertas acerca do funcionamento do cérebro, a mídia cria um universo de especulações exageradas como guias de “ginástica para o cérebro” ou manuais para aprender dormindo. Ainda que, no Brasil, isto não seja uma realidade, nos EUA e em alguns países da Europa, este problema é extremamente grave, ao ponto de pesquisadores nesta área cunharem o termo “neuromitos” (Blakemore e Frith, 2005; Odec, 2007).

Estas discussões, entretanto, estão na pauta das pesquisas em Educação na Europa e EUA. Universidades como Harvard e Cambridge, por exemplo, criaram programas de pós-graduação específicos para pesquisas nesta interface, agregando neurocientistas e educadores. O número de congressos especializados neste tema cresce a cada ano, de modo que, atualmente, esta é uma linha de pesquisa em franco

¹ Ainda que tal afirmação seja verdade ainda hoje, estes números vem mudando ao longo dos últimos anos. Para ser ter uma ideia da transformação, um jornal inteiro foi criado apenas com o objetivo de apresentar pesquisas nessa área: Mind, brain and Education. (<http://www.wiley.com/bw/journal.asp?ref=1751-2271>).

desenvolvimento. Há uma forte expectativa de que os resultados nesta área, em um futuro próximo, serão extremamente promissores para o tratamento de questões educacionais, contribuindo para que se entenda, cada vez mais, os processos envolvidos na aprendizagem e desenvolvimento cognitivo (Blakemore e Frith, 2005; Goswami, 2006; Goswami e Bryant, 2007; Immordino-Yang e Damasio, 2007; Szucs e Goswami, 2007).

Entretanto, ainda não se pode dizer exatamente quais são os problemas e linhas de pesquisa em Educação que a Neurociência pode vir a contribuir de maneira expressiva. Acreditamos que, possivelmente, as áreas nas quais é necessário um conhecimento mais aprofundado sobre os processos presentes na cognição humana, podem se valer do arcabouço teórico-metodológico advindos da nova ciência da mente. Talvez assim, seja possível fornecer respostas bastante diferentes daquelas tradicionalmente geradas pelas pesquisas em Educação, estabelecendo o diálogo desejado entre as duas áreas.

Alguns elementos envolvidos no processo de ensino-aprendizagem estão sabidamente fora do que podemos chamar de espectro teórico-metodológico tradicional das teorias em Ensino de Ciências. Um deles, que localizamos com certa precisão, foi o papel das emoções na aquisição e uso do conhecimento científico. Resolvemos investigá-lo por meio da Neurociência, contudo dentro do contexto do Ensino de Física.

A presente pesquisa investe na interface entre Neurociência e Educação. Espera-se, principalmente, contribuir com o aprofundamento da compreensão dos elementos emocionais envolvidos na aprendizagem de Ciências. Esta pesquisa é guiada por trabalhos advindos da Psicologia e da Neurociência Cognitiva e seus dados serão coletados e analisados por meio do aparato tecnológico e teórico oriundo das Neurociências, dentro de um contexto mais amplo, ligado aos problemas educacionais da aprendizagem de conteúdos científicos.

Pretende-se também fornecer indícios sobre o potencial de pesquisa com este tipo de abordagem para tratar questões pertinentes ao campo da Educação. É preciso ressaltar que o objetivo de nosso trabalho não é, de forma alguma, ser prescritivo. A intenção principal é apresentar uma possibilidade de integração entre as duas áreas a

fim de aumentar o conhecimento acerca de processos cognitivos envolvidos em diversos problemas educacionais, possibilitando novas perspectivas para as pesquisas em Ensino.

1.2 - Neurociência e Educação: conexões

Certamente, os educadores não precisam compreender ou considerar a aprendizagem ao nível celular para realizar seus trabalhos. Sabemos que a eficácia de um processo educacional é determinada também por outros fatores que não os biológicos.

As pesquisas em Educação mostraram, há tempos, a influência das relações professor-aluno-saber, bem como a dependência do contexto familiar, escolar e social nos processos de ensino e aprendizagem. Sendo assim, ressaltamos que, de maneira alguma, queremos reduzir a complexidade envolvida nos processos educacionais a elementos neuronais.

Entretanto, deve-se concordar que toda vez que se fala em aprendizagem, direta ou indiretamente, fala-se sobre o desenvolvimento do cérebro. Ou seja, todo processo educacional está íntima e fortemente ligado a mudanças no córtex, de modo que a investigação acerca dos diferentes processos de aprendizagem proporciona a conexão ideal entre Educação e Neurociências. Com isso, neste capítulo, apresentaremos brevemente possíveis pontos de contato para estabelecermos um diálogo efetivo entre estas duas áreas.

Hoje, de acordo com a literatura, está bastante claro que a experiência, combinada com fatores genéticos e biológicos, molda o cérebro humano, de modo que qualquer tipo de aprendizagem está intimamente ligado a mudanças neurais (Kandel 2000; Gazzaniga, Ivry *et al.*, 2007).

Assim, a aprendizagem, de maneira geral, diz respeito a alterações na conectividade entre os neurônios, seja por meio de mudanças na potencialização das sinapses ou por meio do reforço de conexões. Um ensino eficaz, então, afeta

diretamente as funções cerebrais. Neste sentido, a aprendizagem é o processo pelo qual o cérebro reage aos estímulos externos, fortalecendo algumas sinapses e enfraquecendo outras. Desta maneira, os diferentes padrões de atividade neural podem ser pensados como correspondentes a diferentes estados mentais ou representações mentais.

Com o avanço das investigações sobre o funcionamento do cérebro, tem surgido uma proliferação de opiniões sobre descobertas da neurociência cognitiva que podem ter ligação com a prática educativa (Blakemore e Frith, 2005; Posner e Rothbart, 2005; Bruer, 2006; Immordino-Yang e Damasio, 2007; Szucs e Goswami, 2007). Geralmente, tratam-se de pesquisas que revelam mudanças estruturais e funcionais no cérebro humano após diferentes processos de aprendizagem (Posner e Dehaene, 1994; Pallier, Dehaene *et al.*, 2003; Goswami, 2004; 2006; Goswami e Bryant, 2007; Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier *et al.*, 2008; Izard e Dehaene, 2008).

Assim, por exemplo, pesquisas revelam que aprender a fazer malabarismos proporciona mudanças na massa cinzenta nas regiões médio-temporal e intraparietal, mostrando, assim, a eficácia do treino na aprendizagem motora (Draganski, Gaser *et al.*, 2004). Da mesma forma, estudos com o uso de RMf revelaram que existem pelo menos dois sistemas neurais envolvidos no processamento matemático de informação (Dehaene, 1999; Dehaene, Spelke *et al.*, 1999; Dehaene, Piazza *et al.*, 2003). Com isso, para Dehaene, resultados deste tipo podem contribuir para a compreensão do aprendizado da matemática, visto que propiciam uma ferramenta de análise adicional, capaz de ajudar os professores a se posicionarem perante dicotomias típicas da área de Educação Matemática, como o ensino por procedimentos versus ensino de conceitos (Dehaene, Spelke *et al.*, 1999; Izard e Dehaene, 2008).

Do mesmo modo, tem se avançado na compreensão sobre o desenvolvimento de sistemas neuronais envolvidos na atenção e no controle cognitivo. Tais resultados podem conduzir, por exemplo, discussões acerca das limitações da aprendizagem, no sentido de revelarem como o desenvolvimento de habilidades aritméticas depende da maturação cerebral, de modo que tais limitações podem deixar de ser atribuídas

exclusivamente ao método de ensino ou à falta de aptidão do estudante (Luna, Thulborn *et al.*, 2001; Bengtsson, Nagy *et al.*, 2005; Rivera, Reiss *et al.*, 2005).

Outras descobertas revelam que diferentes aspectos da memória são ativados em diferentes contextos emocionais (Buchanan e Tranel, 2008; Kensinger e Schacter, 2008; Nishida, Pearsall *et al.*, 2009; St Jacques, Dolcos *et al.*, 2009), possibilitando, assim, aprofundar as discussões acerca das relações entre emoção e cognição.

Resultados da neurociência cognitiva também podem contribuir para o entendimento dos papéis do sono e da nutrição no desenvolvimento cerebral e na aprendizagem, fornecendo dados objetivos que podem ajudar os educadores a decidir se e como integrar estas variáveis em seus currículos ou em programas de política de ensino.

Por exemplo, o Grupo Multidisciplinar de Desenvolvimento e Ritmos Biológicos (GMDRB), liderado pelo neurocientista Luiz Menna-Barreto, vem estudando, há anos, juntamente com pesquisadores de Israel e dos Estados Unidos, os padrões de expressão do ciclo vigília-sono nos adolescentes. A alternância entre o sono e a vigília é controlada por um complexo regulador situado na base do cérebro, conhecido por núcleo supraquiasmático. Este pode ser pensado como um relógio biológico, sendo responsável por fazer com que as pessoas sintam fome, sono, e permite que se tenha noção sobre dia ou noite, mesmo na ausência de um relógio. É sabido que estímulos externos e alterações hormonais são capazes de modificar seu funcionamento ao longo da vida (Duffy e Wright Jr, 2005; Menna-Barreto e Wey, 2008).

De acordo com Menna-Barreto, estes padrões do ciclo vigília-sono sofrem significativas variações durante o início da puberdade, fenômeno conhecido por Atraso de Fase da Propensão. Isto ocorre devido à explosão hormonal que se inicia, geralmente, perto dos 10 ou 11 anos e faz com que os ritmos biológicos se atrasem. Como resultado, os jovens demoram a ter sono, preferindo, então, dormir e acordar mais tarde nesta fase da vida.

Porém, é neste período que, geralmente, as aulas, até então oferecidas à tarde, passam a ser ministradas pela manhã. Com isso, devido ao atraso de fase, o adolescente dorme menos nos dias que tem aula, acarretando um aumento excessivo

de sonolência diurna em sala de aula. Muitos destes estudantes podem, então, vir a serem considerados preguiçosos ou indisciplinados pelos professores e pela família (Andrade, Benedito-Silva *et al.*, 1993; Andrade e Louzada, 2002; Menna-Barreto e Wey, 2008).

Segundo Andrade e colaboradores, mesmo com as aulas começando entre 7h e 7h 30min, as pesquisas revelam que os adolescentes não são capazes de dormir mais cedo. Quando se soma a esse fator biológico a interferência de fatores sociais, como a televisão ou internet, percebe-se claramente a perda na qualidade do sono quando o despertador toca, causando, em geral, uma privação parcial de sono nos alunos que estudam de manhã.

Além do aumento da sonolência diurna, que no ambiente escolar diminui a atenção e o interesse, prejudicando assim o desempenho dos estudantes, os pesquisadores apontam para outro grave problema relacionado à aprendizagem: o prejuízo causado à memória. De acordo com Menna-Barreto, há um estágio específico do sono, conhecido por sono paradoxal ou sono REM, que é essencial para a memória. Como esta fase é concentrada nas suas horas finais do sono, adolescentes a perdem ao serem acordados antes do despertar espontâneo, dificultando o processo de consolidação da memória (Andrade, Benedito-Silva *et al.*, 1993; Andrade e Louzada, 2002; Menna-Barreto e Wey, 2008).

Sendo assim, pesquisadores do GMDRB acreditam que organizar a escola de modo a considerar estes aspectos temporais da organização biológica humana poderia melhorar significativamente as condições de aprendizado, visto que muitos estudantes, ao apresentarem um fraco desempenho, podem, de fato, estar com dificuldade de adaptar seu relógio interno aos horários escolares.

Nesta linha, vale ressaltar uma pesquisa que revela o potencial das técnicas da Neurociência Cognitiva para investigar temas educacionais. Pesquisadores mostraram evidências de que a aprendizagem das habilidades específicas de leitura e escrita, durante a infância, influenciam diretamente a organização funcional do cérebro. Tais resultados empíricos e objetivos corroboram o que antes era amplamente aceito entre os educadores.

Castro-Caldas, Petersson e colaboradores (1998), usando tomografia por emissão de pósitron (TEP), investigaram o processamento da linguagem em dois grupos: sujeitos alfabetizados e não-alfabetizado. Os resultados deste trabalho confirmaram a hipótese central dos pesquisadores de que existem diferentes processamentos fonológicos nos analfabetos, indicando que aprender a ler e escrever influencia a estruturação neuronal dos sujeitos. De acordo com os autores,

“Aprender a ler e escrever acrescenta uma dimensão “*visuografica*”, baseada na operação de associar fonemas com seus grafemas correspondentes, ao sistema de representação interna da linguagem falada” (Castro-Caldas, Petersson et al. 1998, pag 1053, tradução nossa).

Assim, para investigar a influência da aprendizagem na organização funcional do cérebro, os pesquisadores analisaram e compararam o desempenho dos dois grupos em uma tarefa de repetição de palavras existentes na língua materna e pseudo-palavras. Ambos apresentaram performances semelhantes durante a repetição de palavras reais e tiveram áreas similares do cérebro ativadas.

Entretanto, os analfabetos apresentaram uma grande dificuldade em repetir as pseudo-palavras corretamente e não tiveram as mesmas estruturas neurais dos alfabetizados ativadas. Tais resultados, como veremos, evidenciam que a aprendizagem da forma escrita da linguagem, a ortografia, interage com a função oral da linguagem (Castro-Caldas, Petersson et al. 1998).

Nesta pesquisa, para serem considerados analfabetos, os sujeitos não poderiam ter tido qualquer contato com a escola e não deviam possuir qualquer conhecimento de leitura e escrita. Assim, foram excluídos os chamados analfabetos funcionais, visto que estes possuem alguma forma de associação entre grafema e fonema, podendo assim contaminar os resultados. Fizeram parte deste estudo 12 mulheres, sendo 6 alfabetizadas e 6 analfabetas, com idades entre 65 e 70 anos, habitantes de uma pequena cidade no sul de Portugal. Todas elas cresceram, viveram, e ainda vivem, no mesmo ambiente sociocultural. Esta escolha foi feita a fim de diminuir a influência de

outros fatores no desempenho da tarefa, garantindo, ao menos, que elas fossem pertencentes a um mesmo contexto.

Foram criadas 6 listas de 20 palavras de alta frequência e com três sílabas, baseadas em palavras usadas no português. As listas de pseudo-palavras foram construídas baseadas em palavras reais, mudando as consoantes e mantendo as vogais e o tamanho das palavras, como por exemplo, “*travata*”, “*tasapo*”, “*binheilo*”. Os sujeitos eram apresentados a uma palavra por vez e eram instruídos a repetir imediatamente e exatamente aquilo que ouviam. Eles sabiam que ouviriam palavras conhecidas e outras que nunca tinham ouvido; contudo, não eram avisados previamente se ouviriam uma palavra real ou uma pseudo-palavra.

Quanto aos resultados encontrados para a repetição das palavras reais, 98% das palavras foram repetidas corretamente entre os alfabetizados e 92% entre os analfabetos. Segundo os autores, ainda que se trate de uma diferença pequena, ela mostrou ter relevância estatística. Além disso, eles afirmam que se trata de um resultado curioso e difícil de explicar, visto que os sujeitos vêm do mesmo contexto sociocultural.

A explicação apresentada para este grau elevado de similaridade no desempenho repousa no fato de que se alguém já ouviu um determinado som, como as palavras reais, ele é reconhecido. Por se tratar de palavras usuais, os analfabetos já haviam tido contato com elas, de modo que, ao reconhecerem-nas, uma produção oral podia ser facilmente gerada, tendo como base um processamento léxico-semântico. Seria algo como a lembrança de uma informação guardada na memória, que é baseada no som ou no conteúdo semântico da palavra.

Os resultados da TEP corroboram esta explicação, na medida que mostram uma similaridade no padrão de ativação cerebral do dois grupos. As áreas ativadas nesta fase da tarefa, com palavras reais, estão relacionadas ao sistema auditivo e memória.

Contudo, o mais interessante desta pesquisa vem dos resultados encontrados durante a repetição das pseudo-palavras. O percentual de acerto foi de 84% entre os alfabetizados e de 33% entre os analfabetos. Da análise dos erros concluí-se que das 1440 palavras apresentadas, 592 foram repetidas erroneamente, sendo que os

alfabetizados erraram 117 e os analfabetos erraram quatro vezes mais, ou seja, 475 palavras.

Para os autores, os erros efetuados pelos analfabetos podem indicar a ausência de sistemas múltiplos e paralelos e totalmente desenvolvidos que interagem no processamento fonológico da informação. Para eles, a ausência de uma ligação visual com o sistema fonológico, que vem com aprendizagem da escrita, especificamente a ortografia, faz com que os indivíduos não-alfabetizados não sejam capazes de repetir corretamente as pseudo-palavras.

Assim, a discrepância no desempenho desta tarefa pode ser entendida como o oposto da explicação anterior. Quando as pseudo-palavras eram apresentadas, o sistema léxico-semântico falhava, de modo que uma produção oral, neste caso, deve estar baseada em outro processamento fonológico, e não apenas nas informações sonoras e semânticas guardadas pelo indivíduo. Isto pode ser evidenciado pelo fato de os analfabetos tenderem a transformar uma pseudo-palavra em palavra real muito mais que os sujeitos alfabetizados. Assim, ao ouvirem, por exemplo, “*travata*” eles repetiam “*gravata*”, tentando dar sentido a uma palavra sem sentido algum. Segundo os autores, uma pessoa alfabetizada pode monitorar e corrigir sua produção de pseudo-palavras por já ter desenvolvido uma rede neural diferente para o processamento fonológico. Este resultado

“[...] indica que a produção oral dos analfabetos é baseada em um sistema neural com uma capacidade diferente para o processamento fonológico em conjunto com um viés em direção ao processamento léxico-semântico, ou seja, seu processamento paralelo, distribuído e interativo é diferente dos indivíduos alfabetizados (Castro-Caldas, Petersson et al. 1998, pag 1059, tradução nossa).

Os resultados revelados pela TEP corroboram esta explicação, pois revela que nos sujeitos alfabetizados há um padrão de ativação cerebral diferente daquela apresentada pelos indivíduos analfabetos. Nesta fase da tarefa, com as pseudo-

palavras, há nos alfabetizados a ativação de diversas regiões do cérebro, como córtex cingulado anterior, tálamo anterior e regiões do lobo temporal. Já nos analfabetos são ativadas as regiões mediais do lobo frontal, e uma ausência de ativação de regiões similares às dos alfabetizados, indicando que eles não são capazes de ativar a rede neural adequada para o processamento fonológico. Para Castro-Caldas, Petersson e colaboradores:

“Aprender a ler e escrever, ou seja, aprender a representação visual da linguagem e as regras de correspondência entre fonema e grafema, desenvolve possibilidades de processamento de uma nova linguagem. Tais possibilidades adquiridas podem explicar o padrão de ativações observado em indivíduos alfabetizados e que não foi observado entre os analfabetos” (Castro-Caldas, Petersson et al. 1998, pag 1059, tradução nossa).

Estes resultados estão de acordo com a hipótese geral de que a aprendizagem por meio da experiência determina parte do desenvolvimento e organização do cérebro humano. Esta pesquisa apresenta fortes evidências experimentais que correlacionam uma alteração na organização funcional do cérebro com a falta de aquisição da habilidade da escrita durante a infância, mostrando, assim, a possibilidade de aprofundarmos a compreensão acerca de determinados processos de aprendizagem importantes à Educação.

Da mesma forma, uma pesquisa investigou se a alfabetização influencia na função cerebral (Dehaene, Pegado *et al.*, 2010). Para alguns pesquisadores, não existem estruturas cerebrais exclusivamente dedicadas à alfabetização, visto que trata-se de um processo extremamente recente na evolução humana. Com isso, sistemas neurais associados ao reconhecimento de faces, casas e objetos poderiam ter evoluído passando a desempenhar um papel importante quando alguém é alfabetizado.

Usando IRMF, Dehaene e um grupo de pesquisadores brasileiros mediram respostas cerebrais associadas à linguagem falada e escrita, percepção de faces, casas e ferramentas em sujeitos com níveis de alfabetização variáveis (10 eram

analfabetos, 22 alfabetizados na idade adulta, e 31 foram alfabetizados na infância). Desta forma, foi possível investigar os efeitos da escolaridade e da alfabetização na ativação das áreas corticais que estariam sendo solicitadas diante esses processos.

Seus resultados indicaram que a alfabetização aumenta a ativação de regiões ligadas à percepção visual e fonológica, além de incrementar a ativação giro fusiforme esquerdo ao sujeito exposto à linguagem escrita. Eles também detectaram que a alfabetização acaba por gerar uma competição com o reconhecimento de faces, levando os autores a concluírem o trabalho dizendo que irão agora investigar o quando perdemos de percepção ao adquirirmos a habilidade de leitura.

O mais relevante desta pesquisa foi usar técnicas da Neurociência para revelar que grande parte das mudanças neurais relacionadas à alfabetização ocorreu quando a alfabetização foi adquirida em idade adulta. Assim, resultados fisiológicos indicam que tanto a aprendizagem na infância quanto a educação de adultos podem refinar profundamente a organização do cérebro.

Nesta perspectiva, a Neurociência vem fazendo investigações sobre diferentes aspectos de atenção, memória, linguagem, leitura, matemática, emoção e cognição. Para diversos autores, os resultados advindos destas pesquisas podem trazer inúmeras e importantes contribuições para a Educação (Berninger & Corina, 1998; Stanovich, 1998; Brown & Bjorklund, 1998; Geake & Cooper, 2003; Geake, 2004).

Entretanto, ainda que tais pesquisas apontem claramente as mudanças corticais envolvidas no processo de aprendizagem, não é tão claro como todo este conhecimento advindo das ciências do cérebro podem contribuir para melhorar a prática educacional.

Desta forma, para alguns pesquisadores, a conexão entre Neurociência e Educação está extremamente longe de se tornar viável. John Bruer, o maior representante desta vertente, acredita que a neurociência possivelmente nunca contribuirá para a educação (Bruer, 1997; 2002; 2006). Para ele, há uma completa desarticulação de conhecimentos entre as duas áreas, de modo que

“as tentativas de ligar neurobiologia com o desenvolvimento do cérebro e educação ignoram, ou são inconsistentes, com o que a psicologia cognitiva nos diz sobre ensino e aprendizagem. [...] Os métodos de neurociência celular e molecular são poderosos, mas nem sempre fica claro que os conceitos de aprendizagem e memória utilizados por neurocientistas são os mesmos utilizados pelos psicólogos, e muito menos pelos professores”. (Bruer, 2006, pag 104, tradução nossa).

Segundo Bruer, somente a Psicologia Cognitiva é capaz de contribuir para o estabelecimento de uma ciência da aprendizagem (Bruer 1997; 2002; 2006). Ele acha frustrante que pesquisadores em educação estejam fascinados pelas descobertas da neurociência e passam a menosprezar o corpo de conhecimento adquirido até o momento pelos estudos em psicologia e comportamento.

Contudo, as críticas severas apresentadas por Bruer devem ser analisadas considerando o contexto no qual se encontram. Pode-se perceber facilmente, pelo tom de seu discurso, que suas opiniões estão permeadas de um forte ressentimento, como mostramos abaixo:

“Ao contrário da psicologia cognitiva, que deixa os educadores e o público frios, a neurociência cognitiva é ilimitada, embora seja e com apelo popular. Esta popularidade é alavancada pelo seu principal instrumento de pesquisa: imageamento do cérebro. Neurocientistas cognitivos apresentam os seus dados em imagens coloridas, onde as áreas do cérebro altamente ativas aparecem como manchas brilhantes dentro do cérebro. [...] Pode-se dizer que a neurociência cognitiva deixou de ser uma “disciplina de boutique” com o desenvolvimento da tomografia por emissão de pósitrons e, posteriormente, com a tecnologia IRM funcional”. (Bruer, 2006, pag 107, tradução nossa).

Talvez esta seja uma reação ao uso inadequado de alguns resultados que originaram diversas especulações por parte da mídia americana e inglesa. Como ele

relata, resultados de uma pesquisa sobre o crescimento de massa cinzenta durante a adolescência sugeriram a existência de uma nova fase de grande produção sináptica. Isto gerou uma série de especulações absurdas. Por exemplo, a *National Public Radio* (NPR), estação de rádio americana, que tem cerca de 27,5 milhões de ouvintes por semana, divulgou a seguinte afirmação:

“Se as crianças estão enchendo seu cérebro neste momento com temas acadêmicos ou esportes, ou música ou vídeo-games, isto é o que estará sendo instalado em seus cérebros e o otimizando para” (Bruer, 2006, pag 106, tradução nossa).

Da mesma forma, como esta pesquisa mostrava que neste período possivelmente o ambiente guiaria a eliminação de sinapses, Bruer foi surpreendido por um e-mail de uma professora que ouviu a notícia fornecida pela NPR e que concluiu que

“Eu ouvi esta notícia incrível na NPR esta manhã, cujo resumo vou reproduzir abaixo. Isso tem implicações inacreditáveis para o desenvolvimento - ajuda a explicar por que alunos do Ensino Médio (High School) não aprendem nada! Se a poda no cérebro realmente acontece duas vezes, isso também ajuda a explicar o incrível salto nas taxas aprendizagem de adolescentes (uma vez que a poda começa antes da explosão do crescimento celular).”(Bruer, 2006, pag 106, tradução nossa).

Com isso, Bruer culpa os neurocientistas e argumenta no sentido de mostrar que não é possível conectar Neurociência e Educação. Certamente, tamanho pessimismo decorre da opção do autor em se ater apenas ao uso inadequado das especulações geradas por diferentes resultados de pesquisa, que tentam, na verdade, fazer com que a neurociência seja tratada como a panacéia da Educação.

Talvez aí se encontre a razão de tamanha descrença e ressentimento por parte daqueles que são contrários a esta conexão. Há, nos EUA e parte da Europa, o

crescimento de uma indústria de programas educacionais chamados de “*brain-based*”, que se utiliza destas especulações para vender seus produtos, que vão desde ginástica para o cérebro, passando por pílulas de Omega 3 e chegando à prescrição de músicas de Mozart para deixar os bebês mais inteligentes (Bruer, 1997; Jensen, Supervision *et al.*, 1998; Bruer, 2002; Waterhouse, 2006; Lahiri e Duncan, 2007; Jensen, 2008).

Sem dúvida alguma que os resultados obtidos pela Neurociência devem ser recebidos com cuidado pelos educadores. Qualquer pesquisador que trave um contato minimamente aprofundado com estas pesquisas pode perceber a complexidade de transpô-las diretamente para a sala de aula.

De forma alguma acreditamos que, por exemplo, os avanços obtidos com a tecnologia de imageamento do cérebro podem, sozinhos, contribuir para o tratamento de questões pertinentes à Educação. Certamente, a localização funcional no cérebro tem extrema relevância para a neurobiologia, medicina e psicologia; contudo, isolada, não acrescenta qualquer tipo de conhecimento para investigações sobre os processos educativos.

Assim, nosso objetivo é justamente elaborar estratégias de investigação capazes de articular a Neurociência Cognitiva com a Educação. Com isso, ao contrário do que acredita Bruer, consideramos essenciais as contribuições da Psicologia Cognitiva, visto que será por meio de seus resultados de pesquisas comportamentais que poderemos ser capazes de criar hipóteses testáveis por meio do arcabouço teórico-metodológico da Neurociência.

Neste contexto, é preciso ressaltar os trabalhos de Kevin Dunbar, talvez o primeiro a conectar Neurociências e Ensino de Física. Este pesquisador dá os primeiros passos para conectar estas duas áreas analisando como os alunos adquirem conceitos de Física, usando a produção de imagens do cérebro para entender como teoria e análise de dados são combinados pelos alunos. Ele foi o primeiro a tentar entender como se dá o processo de mudança conceitual usando técnicas advindas da Neurociência (Dunbar, Fugelsang *et al.*, 2007).

Na referida pesquisa, ele investiga como os estudantes de graduação explicam as diferenças nas estações do ano. Inicialmente, os resultados, obtidos pela análise de

descrições escritas de suas explicações, revelaram que 94% dos estudantes possuem concepções intuitivas sobre esse fenômeno, sendo que a maioria explicou a questão usando as variações na distância da Terra ao Sol.

Após esta etapa, eles foram apresentados a um vídeo da NASA, que mostrava como, na verdade, a inclinação da Terra implica nas diferentes estações do ano. Depois de assistirem ao vídeo, os estudantes responderam um conjunto de perguntas de múltipla escolha, além de ter sido dada a oportunidade para ajustarem a descrição escrita inicialmente.

Ao comparar as respostas dos alunos antes e depois da apresentação do vídeo, apenas um aluno conseguiu acertar as respostas e modificar corretamente a sua primeira explicação. Com o intuito de entender por que os estudantes não responderam corretamente mesmo após o uso do vídeo, que, supostamente, deveria contribuir para sanar a falta de entendimento, Dunbar usa IRMF para testar sua hipótese: os sujeitos não codificam a informação relevante que era incompatível com a sua teoria. Para o pesquisador, “a principal fonte de dificuldade dos alunos é que eles não conseguem integrar diferentes fontes de informação corretamente.” (Dunbar, Fugelsang *et al.*, 2007).

Para responder a questão de maneira correta, os alunos precisam considerar a órbita da Terra ao redor do Sol como basicamente circular e que a inclinação do eixo da Terra determina o ângulo dos raios do Sol que atingem o planeta. Segundo Dunbar, mesmo após serem expostos ao filme, os estudantes não incorporam estas informações e continuam explicando a causa das estações do ano pela distância da Terra ao Sol.

Assim, o experimento proposto pelo pesquisador visa entender por que é tão difícil mudar conceitos mesmo em face de novas informações, investigando as bases neuronais envolvidas nesse processo. Os resultados deste trabalho revelaram que

“[...] quando os estudantes se depararam com informações que são consistentes com as suas teorias preferenciais, regiões do cérebro que estão associadas à aprendizagem (ou seja, núcleo caudado e o giro para-hipocampal) apresentaram

aumento dos níveis de ativação em relação ao valor basal. No entanto, quando os sujeitos foram apresentados a dados que eram incompatíveis com a sua teoria preferida, regiões como cíngulo anterior, precuneus e córtex pré-frontal dorsolateral mostraram um aumento dos níveis de ativação. O cíngulo anterior é tido como uma região do cérebro associada com a detecção de erro e controle de conflitos enquanto o córtex pré-frontal dorsolateral é considerado uma das regiões principais envolvidas no processamento consciente de informação e memória de trabalho. Estes resultados indicam que quando os dados são consistentes com a teoria, então pequenas mudanças nos conceitos são atingidas através de estruturas padrão de aprendizagem.” (Dunbar, Fugelsang *et al.*, 2007, pag 5, tradução nossa)

Além disso, o autor interpreta a ativação do cíngulo anterior de duas formas. Primeiro, ele considera que esta é uma região do cérebro associada à percepção de eventos incomuns ou detecção de erros. Depois, o cíngulo anterior está envolvido em respostas inibitórias. Assim, Dunbar argumenta que

“Qualquer um desses dois pontos de vista indica que em nosso experimento, os participantes tratam os dados que são inconsistentes com as suas teorias plausíveis de maneiras diferentes das informações que são consistentes. Do ponto de vista da educação científica esses dados mostram claramente que apenas apresentar anomalias aos alunos não irá produzir uma mudança conceitual. O que os resultados destas duas experiências mostram é que a crença em uma teoria prévia influencia a interpretação dos dados de uma forma altamente específica. Especificamente, dados inconsistentes com nossas expectativas são tratados como erros e, portanto, não são facilmente incorporados na representação de mundo do sujeito”. (Dunbar, Fugelsang *et al.*, 2007, pag 5, tradução nossa).

Ainda que pioneiro e extremamente interessante, é preciso ressaltar que o artigo apresenta o experimento de maneira absurdamente pobre, sem explicar como o teste foi realizado, quem eram os estudantes, quais questões foram usadas ou mesmo quais foram as questões de controle. Acreditamos que a falta de repercussão de uma

pesquisa com potencial tão significativo para a área de Ensino de Física se deveu justamente à falta de rigor e método na exposição do trabalho.

Em outra série de pesquisas, Dunbar e seu grupo utilizaram IRMF para investigar possíveis correlatos neurais de causalidade perceptiva, além disto, conjuntamente com o uso de testes comportamentais, buscaram identificar bases neurais do pensamento causal (Fugelsang e Dunbar, 2005; Fugelsang, Roser *et al.*, 2005).

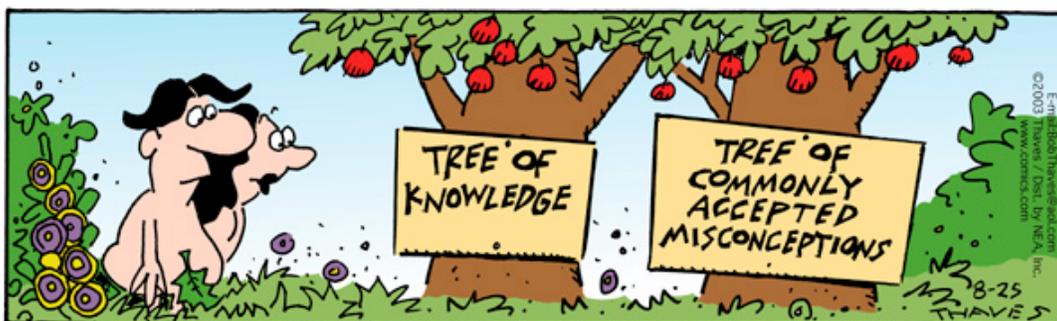
Dunbar é um pesquisador bastante preocupado com os processos cognitivos relacionados, especificamente, ao conhecimento científico, produzindo, antes de se aventurar em Neurociências, um grande volume de pesquisas na área de analogias e criação científica (Klahr e Dunbar, 1988; Dunbar, 1993; Klahr, Fay *et al.*, 1993; Dunbar, 1995; 1997; Blanchette e Dunbar, 2000; Dunbar, 2001). Muitas destas pesquisas foram trabalhadas juntamente com professores, buscando investigar o papel da analogia na aprendizagem de Ciências. Deste modo, grande parte das questões que guiaram suas investigações vinha de problemas surgidos no ambiente escolar.

Assim, acreditamos que é justamente por meio do diálogo entre educadores e neurocientistas que será possível elaborar questões fundamentais sobre diferentes processos cognitivos, a fim de enfrentar o desafio de compreender, de maneira profunda, as complexas operações mentais envolvidas na aprendizagem.

Com isso, torna-se imprescindível considerar os diferentes modelos cognitivos utilizados, gerados ao longo do tempo pelos trabalhos em Psicologia Cognitiva. Pretendemos, então, avançar a discussão para além do levantamento de limites e possibilidades, buscando estabelecer uma conexão de fato, apresentando uma possibilidade real de se realizar uma pesquisa que forneça resultados concretos capazes de estabelecer conexões entre a Educação e a Neurociência Cognitiva.

Um dos nossos objetivos é, assim, fazer um estudo que possa vir a criar novas perspectivas para responder perguntas cruciais sobre a aprendizagem. Focaremos nossa pesquisa na investigação do papel da emoção na aceitação e uso do conhecimento científico, tema que será tratado nos próximos capítulos.

Capítulo II – O Ensino de Ciências e as Emoções



2.1 - Identificando o problema

Em Ensino de Ciências, as mais diversas questões são propícias para a realização do tipo de estudo proposto nesta pesquisa. Resolução de problemas, diferenças no desempenho entre *experts* e novatos, o papel das diversas linguagens na interpretação de conceitos científicos, entre outros, são temas de investigações com tradição na área. Optamos por investigar um tema importante: o conflito cognitivo e as concepções intuitivas em Física, utilizando-se, entretanto, uma abordagem teórico-metodológica retirada da Neurociência.

Objeto de estudo exaustivo no Ensino de Ciências por mais de duas décadas, o modelo de mudança conceitual não alcançou o sucesso esperado como teoria de ensino. Isto decorre, principalmente, do fato de que ainda não se foi possível estabelecer um quadro teórico capaz de explicar por que, mesmo fazendo uso de situações de conflito, boa parte dos estudantes continua aderindo às concepções intuitivas como representação de mundo.

Os mais diversos pesquisadores perceberam diferentes problemas, alguns de ordem epistemológica e outros de ordem cognitiva, gerando assim diferentes tentativas de re-interpretação das teorias cognitivistas como busca de soluções. Contudo, o volume de pesquisas sobre este tema diminuiu vertiginosamente nos últimos anos, mas trata-se ainda de um problema em aberto no Ensino de Física.

Acreditamos que esta linha de pesquisa arrefeceu não porque o problema foi meramente esquecido ou porque a comunidade simplesmente perdeu o interesse no tema. O modelo de conflito cognitivo ainda continua uma questão em aberto na área de Ensino de Ciências devido à falta de possibilidade de se continuar a estudá-lo da maneira com que, tradicionalmente, veio sendo feita.

As propostas por soluções se transformam rapidamente em um debate entre diferentes correntes epistemológicas e algumas teorias de cognição, ainda herdeiras da polarização Piaget-Vygotsky. Como será exposto a seguir, tal estratégia, demonstrou ser, neste caso, insuficiente para explicar o que acontece, de fato, quando os estudantes se deparam com testes cujas respostas contêm concepções intuitivas.

Ao se consultar a literatura da área, pode-se encontrar uma pequena corrente de pesquisa que percebeu que, talvez, a raiz do problema esteja na forma com que se faz o julgamento sobre uma representação de mundo. Ou seja, quando se faz uso do conhecimento para explicar o mundo, surge a oportunidade de se estudar o papel de elementos não cognitivos, de natureza emocional, na aprendizagem de conteúdos da Ciência. Esta corrente ainda é tímida, principalmente devido à carência de instrumental suficientemente adequado para o tratamento da questão.

Assim, acreditamos que esta linha de investigação não se desenvolveu porque não havia disponível uma metodologia capaz de estudar o papel da emoção, no ensino de Física, como algo além de um simples sinônimo de motivação.

Temos dito que acreditamos na existência de uma área de conexão frutífera a ser estabelecida entre questões de natureza educacional e o arcabouço teórico-metodológico retirado da Neurociência. Nossa escolha foi, então, investigar o modelo conflito cognitivo, analisando o papel da emoção na aprendizagem e uso de conhecimento científico.

2.2 - O modelo de Mudança Conceitual e o Conflito Cognitivo

O Ensino de Ciências, como campo de pesquisa, possui uma pluralidade de concepções epistemológicas acerca dos processos envolvidos no ato de ensinar e de aprender. De maneira geral, todas estas diferentes visões buscam compreender como se dá a gênese e o desenvolvimento do conhecimento científico no aparato cognitivo dos alunos. Em meio a uma profusão dos mais diversos modelos teóricos, destaca-se o Construtivismo, uma das teorias mais influentes na área de Educação.

Dentro da concepção epistemológica do Construtivismo, a construção do conhecimento se dá individualmente, cabendo ao professor o papel de guia deste processo, fomentando o amadurecimento de seu estudante e contribuindo para o seu crescimento cognitivo.

O “movimento construtivista”, surgido na década de 70, teve forte influência na Educação e guiou grande parte das pesquisas em Ensino de Ciências (Matthews, 1993; Gil-Pèrez, Alís *et al.*, 1999; Limón, 2002; Vosniadou, 2007). De maneira geral, o modelo construtivista traz uma visão particular acerca da natureza do conhecimento e busca compreender como ocorre a aquisição do saber pelo ser humano, tendo como elemento fundamental de sua investigação os processos de aprendizagem.

De acordo com Matthews, este movimento é baseado em uma gama de teorias filosóficas, epistemológicas e psicológicas. Segundo o autor, o núcleo construtivista é guiado pela epistemologia genética de Jean Piaget, pelas visões de ciência de filósofos como Thomas Kuhn, Paul Feyerabend, Imre Lakatos e, no âmbito do construtivismo social, pela teoria de aquisição da linguagem de Lev Vygotsky (Matthews 1993). Posto isto, não é difícil concluir que, ao longo do tempo, o termo construtivismo passou a contemplar uma série de visões diferentes acerca da aprendizagem. Este movimento, então, abarca um conjunto de distintos construtivismos, que, muitas vezes, apresentam acentuadas divergências entre si (Matthews, 1993; Mortimer, 1996; Bastos, 1998; Taber, 2006).

Ainda que os adeptos de cada corrente em particular não estejam acordados em diversos aspectos, de maneira geral há um consenso de que a característica central do

modelo construtivista é o enfoque na construção do conhecimento pelo próprio sujeito, retirando-o do papel de coadjuvante e alçando-o a protagonista no processo da aprendizagem.

Além disso, outro ponto em comum, bem estabelecido no âmbito das pesquisas construtivistas em Ensino de Ciências, diz respeito à necessidade de se considerar o conhecimento prévio que os estudantes trazem para o contexto escolar quando se deseja que eles adquiram um novo conhecimento.

Em 1978, Driver e Easley publicaram um artigo considerado um marco na área de Educação Científica. A partir de críticas às pesquisas de Piaget e colaboradores, que centravam seus estudos na importância das estruturas lógicas subjacentes à aprendizagem, os autores ressaltaram a necessidade de se considerar nesse processo as diversas idéias trazidas pelas crianças (Driver e Easley, 1978). Eles sugeriram que seria importante replicar os trabalhos de Piaget com o foco na investigação do papel das idéias prévias dos alunos na construção do conhecimento, fortalecendo a concepção construtivista e fundamentando, assim, toda uma linha de pesquisa que surgiria nos anos seguintes.

A partir dos questionamentos e proposições encontradas em trabalhos como este, é realizada uma série extensa de pesquisas que buscam, empiricamente, conhecer as concepções prévias dos alunos. Aparece, então, na literatura, uma profusão de termos como *concepções alternativas*, *concepções intuitivas*, *idéias dos estudantes*, *concepções espontâneas*, *ciência das crianças*, *pré-concepções e teorias ingênuas*², cuja utilização acaba por indicar o alinhamento epistemológico de cada uma destas pesquisas.

Durante mais de duas décadas, estes estudos exerceram, e ainda exercem, forte influência no Ensino de Ciências; em especial, no Ensino de Física. Assim,

² Foge do escopo desta pesquisa aprofundar nas diferenças existentes em cada um destes termos. Assim, iremos adotar o uso concepções intuitivas como sintetizador da idéia de que os estudantes trazem para a sala de aula experiências e conhecimentos prévio àqueles formais ao qual serão expostos no ambiente escolar. Para uma revisão extensa acerca da terminologia presente nas pesquisas em Ensino de Ciências ver Pfundt, H. D., R. (1992). *Bibliography - Student's Alternative Frameworks and Science Education*. Kiel, IPN.

diversos pesquisadores mobilizaram esforços para mapear as concepções intuitivas³ dos estudantes acerca de uma vasta gama de fenômenos naturais, além de buscar entender como elas interagem com os conteúdos científicos presentes no contexto escolar.

Um trabalho emblemático na área é a pesquisa de Viennot, que, em 1979, revela a existência de concepções intuitivas mesmo entre estudantes universitários de um curso de Física (Viennot, 1979). Seus resultados revelaram que as concepções prévias dos estudantes são robustas, estáveis e bastante resistentes a mudanças. A partir desse período, uma série de testes para levantamento destas concepções foi elaborada, esquadrinhando quase que por completo os conteúdos presentes no currículo de Física.

Pode-se, assim, encontrar trabalhos sobre Termologia (Albert, 1978; Tiberghien, 1978; Erickson, 1980), Óptica (Guesne, 1978; Stead, 1980; Anderson, 1982), Eletricidade e Eletromagnetismo (Rhöneck, 1981; Thong e Gunstone, 2008; Afra, Osta *et al.*, 2009) e tópicos de Física Moderna, como concepções acerca da natureza da luz e da matéria (Paulo, 1997) (Othman, Treagust *et al.*, 2007), modelos quânticos (Solbes, 1987; Mota, 2000), radioatividade (Lijnse, 1990) e relatividade (Warren, 1976; Alemañ Berenguer, 1997). Em mecânica, talvez o tema mais explorado na área, pode-se encontrar um conjunto enorme de pesquisas, que cobrem praticamente todos seus tópicos (Hallouna e Hestenes, 1985; Peduzzi e Peduzzi, 1985; Villani, Pacca *et al.*, 1985; Villani e Pacca, 1987; Hestenes e Wells, 1992; Hestenes, Wells *et al.*, 1992; Peduzzi, Zylbersztajn *et al.*, 1992; Camargo, 2000; Gönen, 2008).

Desta forma, para Mortimer (1996), o grande volume de dados produzidos neste período acabou por ditar os rumos da pesquisa em Ensino de Ciências, fortalecendo o “movimento construtivista” e permitindo que ele dominasse as pesquisas na área nas últimas décadas.

Neste cenário, destaca-se o modelo de **mudança conceitual**, programa de pesquisa que evoluiu a partir dos trabalhos em concepções intuitivas (Wandersee,

³ Como iremos utilizar ao longo de todo o texto a palavra “alternativa”, referindo-se às possíveis alternativas de respostas para questões presentes em nosso experimento, por motivos de clareza, optamos por utilizar então *concepções intuitivas* ao invés de concepções alternativas.

1994; Vosniadou, 2007). Como as idéias prévias, as crenças pessoais, ou o conhecimento espontâneo que os indivíduos possuem são relevantes na construção de um novo conhecimento, passa a ser necessário, além de identificá-los e reconhecê-los, buscar estratégias que permitam que eles possam ser transformados em conhecimentos científicos ou, de maneira mais radical, trocados por eles. Uma série de diferentes modelos teóricos foi, então, elaborada para desenvolver e explicar a idéia de mudança conceitual (Posner, Strike *et al.*, 1982; Thagard, 1991; Hewson e Hewson, 1992; Strike e Posner, 1992; Thagard, 1992; Vosniadou e Brewer, 1992; Vosniadou, 1994; Mortimer, 1995)⁴.

Em um trabalho pioneiro de 1982, Posner, Strike, Hewson e Gertzog, fortemente inspirados pelas idéias de Thomas Kuhn e Imre Lakatos, propuseram um modelo teórico que influenciou largamente as pesquisas na área. Nele se considera a existência de dois tipos de mudança conceitual: *Assimilação* e *Acomodação*.

O primeiro tipo, a Assimilação, diz respeito ao processo no qual o estudante faz uso dos conceitos que já possui para interpretar um fenômeno desconhecido. Já o segundo é aquele no qual o estudante necessita trocar ou re-organizar seus conceitos. Segundo Tyson e colaboradores, de maneira geral, no artigo de Posner et al

“É sugerido que os cientistas têm um “*background*” de compromissos centrais que organizam suas pesquisas; da mesma forma, os estudantes possuem um “*background*” de compromissos centrais que organizam suas aprendizagens. A mudança conceitual ocorre quando estes compromissos centrais exigem modificações. Os cientistas e os estudantes precisam, igualmente, adquirir novos conceitos e uma nova forma de ver o mundo. Neste contexto, a mudança conceitual radical ou acomodação é análoga à revolução científica de Kuhn”. (Tyson, Venville *et al.*, 1997, pag 391, tradução nossa).

⁴ Para um extensa revisão e discussão teórica acerca destes diferentes modelos ver Tyson, L., G. Venville, et al. (1997). "A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom." Science education 81(4).

Este modelo de mudança conceitual traz, em seu cerne, uma analogia entre o desenvolvimento de uma teoria científica e a construção do conhecimento por um indivíduo. Surge, então, a proposição do **conflito cognitivo**⁵, elemento essencial para que os alunos abandonem suas concepções intuitivas, aderindo, assim, aos conceitos científicos. Isto porque, dentro do modelo khuniano acerca do desenvolvimento do conhecimento científico, um novo corpo de conhecimentos surge em função da resolução de uma anomalia, que exige do indivíduo uma nova explicação que a satisfaça. Os autores, então, focalizam o conceito de *acomodação* e afirmam que são necessárias quatro condições para que ela ocorra: *dissatisfaction, intelligibility, plausibility e fruitfulness*⁶.

Sendo assim, é necessário que os estudantes sejam expostos a dados anômalos que, ao entrarem em conflito com os conhecimentos não-científicos que eles possuem, causam uma insatisfação. O conhecimento científico surgiria, então, com uma nova solução, que seria inteligível e plausível, fazendo sentido para o aluno e propiciando, assim, a mudança conceitual desejada.

Influenciados pelo trabalho de Posner e colaboradores e pela concepção de *equilíbrio* proposta por Piaget, o **conflito cognitivo** passou a ser o elemento central em diversos modelos teóricos elaborados a fim de explicar a **mudança conceitual** (Chan, Burtis *et al.*, 1997; Limón, 2002; Kang, 2004; Vosniadou, 2007). De maneira geral, grande parte das pesquisas desse período envolvia o levantamento das concepções intuitivas dos estudantes e a subsequente busca por estratégias capazes de gerar estados de conflito, que fariam com que os alunos substituíssem suas pré-concepções por aquelas aceitas cientificamente. O professor, ao conduzir e controlar este processo, faria com que os alunos, rápido e facilmente, abandonassem suas idéias ingênuas, possibilitando que a mudança conceitual ocorresse. A fim de tornar explícita as contradições de pensamentos dos alunos, guiar as discussões entre os

⁵ As noções de assimilação e acomodação, assim como de conflito cognitivo presentes na mudança conceitual são de forte inspiração piagetiana, embora os autores da proposta façam questão de indicar que fazem um uso livre de compromissos teóricos com a teoria cognitiva de Piaget (Posner, Strike *et al.*, 1982, pag 212).

⁶ Os três primeiros termos foram traduzidos na literatura brasileira de maneira consensual, ficando assim, insatisfação, inteligibilidade e plausibilidade. Contudo, o último termo foi traduzido de diferentes formas, como frutífero ou fertilidade. Sendo assim, optamos por deixá-los em inglês, visto que não prejudica a compreensão do texto.

estudantes e revelar a possível mudança ocorrida, a maioria dos pesquisadores fez uso de entrevistas e questionários pré e pós-teste. Com isso, o objetivo era verificar a eficácia desta abordagem, proporcionando a criação de uma metodologia de ensino otimizada, adequada à aprendizagem de Ciências.

Entretanto, estas estratégias, teóricas e metodológicas, por meio do conflito cognitivo, ainda que mostrassem um relativo sucesso, não apresentaram o desempenho significativo que se esperava. Isto porque diversos pesquisadores revelaram que, mesmo após serem expostos às situações de conflito, muitos estudantes permaneciam com suas concepções prévias ou assimilavam os novos conceitos científicos de forma muito superficial (Dreyfus, Jungwirth *et al.*, 1990; Dykstra Jr., Boyle *et al.*, 1992; Chinn, 1993; Smith, Disessa *et al.*, 1994; Chan, Burtis *et al.*, 1997; Limón e Carretero, 1997; Vosniadou, 1999; Boyle, 2002).

Já outras pesquisas trazem resultados que revelam que o conflito cognitivo não funcionou para promover a mudança conceitual (Champagne, Gunstone *et al.*, 1985; Eylon e Linn, 1988; Dreyfus, Jungwirth *et al.*, 1990; Guzzetti, Snyder *et al.*, 1993; Baillo e Carretero, 1996; Guzzetti, Williams *et al.*, 1997; Limón e Carretero, 1997; Tillema e Knol, 1997; Guzzetti, 2000).

Além disso, diferentes pesquisas revelaram que a mudança conceitual não pode ser considerada um processo rápido, como se a acomodação ou a assimilação fossem automáticas. Pelo contrário, estes pesquisadores acreditam que se trata de um processo lento e gradual, exigindo um intervalo de tempo necessário muito maior para ele ocorra (Caravita e Halldén, 1994; Spada, 1994; Vosniadou, 1994; Hatano e Inagaki, 2000; Vosniadou, 2003).

Pode-se perceber que, com os avanços nas pesquisas em Ensino de Ciências, o modelo de mudança conceitual, bem como o próprio “movimento construtivista”, sofreu inúmeras críticas, de cunho epistemológico, pedagógico e psicológico (Matthews, 1992; Suchting, 1992; Osborne, 1993; Solomon, 1994; Limón, 2002; Arabatzis, 2007; Baltas, 2007; Machamer, 2007), passando, assim, por diversas modificações.

Uma revisão mais detalhada pode revelar modelos teóricos variados como, por exemplo, o proposto por Carey, que considera a mudança conceitual em termos de

reestruturações fortes ou fracas (Carey, 1985). Já Hewson e Hewson (1992) tratam-na a partir de captura ou troca conceitual. Vosniadou (1994) traz a idéia de enriquecimento ou revisão conceitual. Para Thagard (1991), a mudança conceitual ocorre por meio de mecanismos de revisão de crenças. Mortimer (1995) propõe o modelo de perfil conceitual, que considera a possibilidade de utilização de diferentes formas de pensar, em diferentes domínios, de modo que um novo conceito pode co-existir com um conceito prévio. Por fim, diSessa apresenta a idéia de ecologia conceitual, na qual a mudança conceitual envolve uma série de tipos diferentes de conhecimentos que são organizados e re-organizados em sistemas complexos (Disessa, 2002).

Logo, os mais diversos autores propuseram diferentes versões, de modo que, de acordo com Mortimer, *“A exemplo do que ocorre com 'construtivismo', 'mudança conceitual' se tornou um rótulo a cobrir um grande número de visões diferentes e, até, inconsistentes.”* (Mortimer, 1996). Ainda assim, segundo Niedderer (1991), a “mudança conceitual” tornou-se um sinônimo para “aprender ciência” (apud Mortimer, 1996, pg.22).

Foge do escopo desta pesquisa esgotar os diferentes modelos teóricos acerca da mudança conceitual ou aprofundar a discussão sobre suas fundamentações filosóficas e epistemológicas. Contudo, é imprescindível para este trabalho discutir o fato de que, ainda que se tenham resultados positivos com as estratégias de conflito cognitivo, ele parece não ser suficiente para promover uma mudança conceitual.

Os resultados de diversas pesquisas indicam que, de alguma forma, muitas vezes os estudantes não são capazes de adquirir um entendimento profundo dos novos conhecimentos científicos a eles apresentados mesmo após serem expostos às situações de conflito. Como pode ser resumido nas palavras de Chan e colaboradores, *“mesmo quando os alunos são confrontados com informações contraditórias, muitas vezes são incapazes de alcançar conflitos significativos ou tornar-se insatisfeitos com suas concepções prévias”* (Chan, Burtis et al., 1997).

Ao longo das últimas duas décadas, não foi possível estabelecer um quadro teórico capaz de explicar de maneira satisfatória por que isso ocorre, de modo que se

trata de uma questão central no âmbito do Ensino de Ciências, visto que as estratégias de intervenção em sala de aula, na maioria das vezes, faz uso do conflito cognitivo.

Ainda que as pesquisas supracitadas tenham, de maneira direta ou indireta, discutido e investigado esta questão, é necessário ressaltar que a quase totalidade destes trabalhos apresenta questionamentos de cunho epistemológico ou cognitivo (Pintrich, Marx *et al.*, 1993). Entretanto, a partir da última década, houve um crescimento, ainda que muito tímido, de pesquisas que passaram a investigar outros aspectos envolvidos na mudança conceitual.

Pode-se, por exemplo, encontrar os trabalhos de Vosniadou, nos quais se afirma que a mudança conceitual não pode ser considerada apenas como um processo cognitivo individual, mas deve ser pensada como uma atividade social permeada por um complexo ambiente sócio-cultural (Vosniadou, 1999; Vosniadou 2007).

Assim, para se pensar como os conceitos se transformam, é preciso considerar outros aspectos que não os cognitivos. Para alguns pesquisadores, então, a construção do conhecimento se dá por meio de um conjunto de ferramentas culturais, de modo que o desenvolvimento conceitual de um indivíduo é pensado como um produto de práticas sociais compartilhadas dentro de uma determinada comunidade (Säljö, 1994; Kelly, 1998; Ivarsson, 2002).

Além desta vertente sócio-cultural, a partir de um trabalho de Pintrich, Marx, e Boyle (1993), aspectos como motivação, emoção e afetividade passaram, aos poucos, a fazer parte das pesquisas em Ensino de Ciências. Curiosamente, ainda que no trabalho de Posner e colaboradores houvesse um germe para a investigação de aspectos emocionais, dada a necessidade de se gerar uma insatisfação nos estudante, raras são as pesquisas que abordam o papel da afetividade na construção do conhecimento científico.

Pintrich e colaboradores (1993), no artigo *“Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change”*, argumentam que a abordagem clássica da mudança conceitual considera apenas o que chama de “cognição fria”, em alusão ao uso exclusivo da razão, em detrimento de aspectos afetivos e motivacionais.

Para estes autores, um ensino efetivo, que realmente promova uma mudança conceitual, necessita integrar formas de aumentar a motivação dos estudantes para que mudem suas crenças e sua relação afetiva com o conhecimento (Pintrich, Marx *et al.*, 1993; Sinatra e Dole, 1998; Alexander, 2001; Sinatra, 2003; Sinatra e Pintrich, 2003). Eles afirmam que é essencial considerar o que chamam de “cognição quente”, que seriam justamente características emotivas, como afetividade, motivação e crenças.

De certa maneira, estes autores colocaram o foco de suas pesquisas em algo que grande parte dos educadores experientes, de maneira mais ou menos acentuada, constata em suas vivências em sala de aula: fora do ambiente escolar, parecem existir outros aspectos, além dos racionais, que influenciam os alunos no momento de utilizar seus conhecimentos. Deste modo, critérios como lógica, inteligibilidade e plausibilidade, propostos originalmente por Posner, Strike et al (1982), têm pouca chance de serem espontaneamente aplicados (Pietrocola e Pinheiro, 2000; Pietrocola, 2001; Custódio e Pietrocola, 2002; Pinheiro, 2003).

Villani e Cabral (1997) reiteram esta constatação ao afirmarem que o modelo de mudança conceitual peca ao considerar o aluno um pequeno cientista, utilizando somente a racionalidade da pesquisa científica para validar suas explicações, alijando o papel da subjetividade na aprendizagem.

Assim, dentro desta perspectiva, esta pesquisa busca investigar se elementos “não-cognitivos” participam do entendimento do estudante, contribuindo para a incorporação de conceitos científicos em suas representações mentais. Esperamos poder contribuir para compreender por que o conflito cognitivo não tem e/ou teve o sucesso desejado como teoria de ensino; ou seja, por que as estratégias de mudança conceitual baseadas apenas em aspectos cognitivos parecem não funcionar.

Acreditamos que é fundamental investigar o papel de elementos emotivos no processo de aprendizagem para poder avançar no desenvolvimento de estratégias de ensino capazes de facilitar a aprendizagem de conteúdos científicos. Mais especificamente, a partir de uma abordagem teórica advinda da Neurociência, e por

meio de suas metodologias de pesquisa, iremos investigar qual é o papel da emoção na aprendizagem e uso do conhecimento científico.

2.3 - Emoção e Afetividade no Ensino de Ciências

Emotions are alien to me. I'm a scientist.

Dr. Spock (stardate 3417.3)

As experiências diárias nos levam a reconhecer que nosso estado emocional influencia a maneira pela qual pensamos. Na vida cotidiana, as pessoas orientam suas ações, tomam suas decisões, exibem comportamentos e efetuam ações considerando aspectos tanto racionais quanto emotivos.

Desta forma, as predileções pessoais por roupas, gêneros literários, estilos musicais ou grupos sociais, por exemplo, são influenciadas, e até mesmo determinadas, por critérios que vão além do racional. Assim, as relações estabelecidas com o mundo são largamente influenciadas pela emoção. Talvez o exemplo mais corriqueiro seja o fato de nos lembrarmos sempre de inúmeras situações desagradáveis já vivenciadas quando estamos tristes, ainda que tais situações não estejam diretamente ligadas ao que está, naquele momento, nos entristecendo.

Ao longo das duas últimas décadas, diversos pesquisadores investigam estas “percepções” e suspeitas da influência da emoção na cognição forjadas no dia-a-dia. Alguns destes trabalhos, por exemplo, apresentam resultados indicando que pequenas diferenças nos estados afetivos dos indivíduos são capazes de produzir diferenças significativas em seus processos cognitivos (Schwarz e Bless, 1991; Schwarz, Bless *et al.*, 1991; Forgas, 1992a; 1992b; Clore, Schwarz *et al.*, 1994; Bower e Forgas, 2001; Fiedler, 2001), revelando que aspectos emocionais interferem no processamento de informação pelas pessoas. Segundo Bless, *“Um acúmulo de pesquisas demonstrou convincentemente que mudanças sutis em nossos estados afetivos podem ter um impacto pronunciado no que e como pensamos”* (Bless, 2001, pag 201, tradução nossa).

De maneira geral, as evidências empíricas advindas de pesquisas oriundas da psicologia cognitiva e, mais recentemente, das neurociências cognitivas, sugerem que os estados emocionais influenciam nos processos de gravação da memória (*encoding*), de lembrança (*recall*) e em processos de tomadas de decisão e julgamento (Forgas, 1992b; Bless, 2001; Bower e Forgas, 2001; Eich e Macaulay, 2001).

Assim, na última década, pôde-se ver o debate acerca da distinção e inter-relação entre cognição e emoção, caloroso no século XIX, se reacender (Izard, Kagan *et al.*, 1984; Zajonc, 1984; Ledoux, 1993; Niedenthal e Kitayama, 1994; Alsop e Watts, 1997; 2003). Ou seja, as ciências e a filosofia voltam seus olhos para a compreensão do papel da racionalidade nas experiências emotivas, bem como para a relação da emoção com conceitos cognitivos.

A busca pela compreensão das conexões entre os processos cognitivos e emocionais pode ser facilmente exemplificada por pesquisas em psicologia social, que visam evidenciar como o humor influencia na percepção das pessoas sobre elas mesmas e sobre os outros (Davidson, 1993; Ellis e Moore, 1999; Bolte, Goschke *et al.*, 2003; Dolan, 2003; Bar-On, Tranel *et al.*, 2004; Kensinger e Schacter, 2008). Hoje, existem evidências de que, como dito anteriormente, o estado emocional “colore” nossas lembranças.

Resultados de pesquisas revelam que o humor influencia fortemente na percepção, de modo a “selecionar” quais aspectos do ambiente ficarão mais salientes. Da mesma forma, a condição emocional do sujeito tem uma influência acentuada no que será lembrado do passado e o que será gravado no presente (Bousfield, 1950; Davidson, 1993; Adolphs, Cahill *et al.*, 1997; Ellis e Moore, 1999; Kensinger e Schacter, 2008).

De maneira geral, o que as mais diversas pesquisas recentemente indicam é que estados afetivos e características emocionais influenciam fortemente no processamento das informações. Para Bower, por exemplo, a associação entre conceitos, além de baseada na semântica, ocorre também por meio de associações emocionais, de modo que ambos estejam diretamente conectados (Bower, 1981; Bower e Forgas, 2001).

As pesquisas mencionadas exemplificam o esforço pela busca de uma maior compreensão do funcionamento dos processos envolvidos na aprendizagem de um modo geral. Dentro do âmbito das ciências cognitivas, psicologia e neurociências, questionamentos acerca da influência da emoção na cognição crescem a cada ano e instigam e motivam os mais diferentes pesquisadores.

E como esta influência se dá no contexto escolar? Será que ela desempenha algum papel na aprendizagem de conceitos científicos? Como o saber escolar é um elemento fundamental no desenvolvimento cognitivo dos indivíduos, no âmbito do Ensino de Ciências, parece-nos de suma importância investigar se as relações estabelecidas com o conhecimento científico guardam uma dimensão emocional.

Como dito anteriormente, embora a investigação acerca dos aspectos afetivos na educação esteja mais fortemente presente no âmbito da psicologia ou filosofia, no Ensino de Ciências, as pesquisas sobre modelos cognitivos de aprendizagem são inúmeras, com o foco em processos metacognitivos e decodificação de informação (Bonney, Kempler *et al.*, 2005).

Entretanto, pode-se notar que pesquisas recentes na área de Ensino de Ciências apontam para a necessidade de se considerar aspectos emocionais que parecem influir significativamente na atividade intelectual dos estudantes, em particular, na aprendizagem (Pintrich, Marx *et al.*, 1993; Tyson, Venville *et al.*, 1997; Villani, A. e Cabral, T. C. B., 1997; Watts e Alsop, 1997; Alsop, 2001; Pietrocola, 2001; Alsop, 2005; Custódio, 2007).

Assim, a relação entre emoção e cognição tem se transformado, ainda que timidamente, em um rico e importante tema de pesquisas em Ensino de Ciências. Destacam-se aqui os trabalhos que visam elucidar a importância dos interesses, motivações e crenças, bem como dos sentimentos e das emoções na aprendizagem de conteúdos científicos.

Em 2000, os pesquisadores Mike Watts e Steve Alsop fizeram uma chamada para artigos que trouxessem discussões acerca das dimensões afetivas do ensino, em

um editorial do *International Journal of Science Education*⁷. Devido à grande repercussão, a edição foi transformada em livro *“Beyond Cartesian dualism: Encountering Affect in teaching and learning of Science”* (Alsop 2005), no qual o papel da emoção e afetividade na aprendizagem de conhecimentos científicos foi explorado. De maneira geral, estes pesquisadores defendem que haja no Ensino de Ciências uma maior valorização dos elementos afetivos e cognitivos na construção intelectual dos estudantes (Alsop e Watts, 2000).

Por exemplo, pesquisas nesta área sugerem que emoções positivas presentes em aulas de ciências estão fortemente envolvidas com um aumento na qualidade da aprendizagem de determinados conteúdos. Laukenmann (2003) apresenta dados indicando que o bem-estar e o interesse desempenham um papel significativo na aprendizagem, discutindo, assim, a influência de elementos emocionais em aulas de física. Seus resultados apontam que aspectos emotivos têm um forte impacto nas fases de apresentação do problema e na aquisição de dados; porém, são atenuados na fase de prática experimental. Além disso, o autor ressalta que a sensação de alegria está intimamente relacionada com o processo de aprendizagem nas aulas de Física. Para Laukenmann

“Quanto maior é a sensação de bem-estar dos estudantes durante a introdução de um novo tópico, mais interessados eles ficam com esse tópico, mais eles aprendem, independentemente de seus sentimentos em geral para um determinado assunto de física. [...] Eles [os dados] mostram que experienciar alegria nas aulas de física está essencialmente relacionado com o processo (bem sucedido) de aprendizagem. Bem como o interesse está relacionado ao processo de aprendizagem e não somente ao conteúdo de uma aula de física. Estas alegres e interessantes situações de aprendizagem são caracterizadas por experiências individuais de envolvimento cognitivo e competência” (Laukenmann, 2003, pags 503-505, tradução nossa).

⁷ International Journal of Science Education, Vol.22, n.12, 2000, p.1219-1220

Já Watts (2001) considera que

“[...] toda aprendizagem (e ciência não é uma exceção) tem uma dimensão afetiva. Sentimentos e emoções moldam atitudes, gostos, humores e motivações para o ensino. Tanto dentro quanto fora da escola, sentimentos alimentam o processo de aprendizagem — também criando hostilidade e aversão à aprendizagem. (Watts, 2001, pag 201, tradução nossa).

Para o autor, aspectos afetivos e emocionais da ciência podem gerar sentimentos de encantamento e interesse nos alunos, tornando a ciência menos estranha e distante deles. Neste sentido, esta abordagem mais humana seria uma alternativa para o alerta feito por Alsop (2005) acerca do declínio do interesse dos estudantes em seguirem carreiras científicas. De acordo com Alsop, este desinteresse está intimamente relacionado com a abordagem fria e mecânica com a qual tradicionalmente se vem ensinando ciências nas escolas.

Simpson e colaboradores (1994) afirmam que grande parte do currículo é centrada no que chamam de *atitudes científicas*, que seriam características intrinsecamente cognitivas, como a racionalidade envolvida nas investigações, criação de hipóteses, experimentação e sistematização. Para eles, seria importante a inclusão de *atitudes sobre Ciências*, que seriam justamente emoções e sentimentos associados com a ciência e seu ensino (Simpson, Koballa *et al.*, 1994).

Linnenbrink e Pintrich (2002), que investigam o papel da motivação e das crenças na aprendizagem de conceitos científicos, se relacionam diretamente com as pesquisas sobre a influência do estado emocional na formação da memória, como anteriormente citado. Os pesquisadores acreditam que aspectos emotivos podem ser de suma importância para o processo de mudança conceitual, no sentido de deixar os alunos mais “abertos” para os novos conceitos.

“Ou seja, alunos que se sentem felizes ou estão de bom humor pode estar menos suscetíveis para visualizar novas informações ou informações que contradizem suas idéias prévias como uma ameaça. Estes alunos podem estar mais abertos a novas idéias. Em contrapartida, os estudantes que estão se sentindo ansiosos, tristes ou infelizes podem visualizar novas ou contraditórias informações como uma ameaça e, portanto, estão menos suscetíveis a considerar plenamente as informações apresentadas ou podem simplesmente ignorar tais informação, pois estas são contrárias ao que eles já acreditam” (Linnenbrink e Pintrich, 2002, pag 118, tradução nossa).

Eles utilizam o trabalho de Bless (2000) para discutir a possibilidade de elementos afetivos influenciarem no processamento de informações.

“Por exemplo, Bless sugere que as pessoas em estados de espírito positivo, utilizam estruturas de conhecimento geral, tais como *scripts* e esquemas para processar a informação. No entanto, quando eles percebem que a nova informação não se encaixa em seus esquemas existentes, são mais propensos a considerar as novas informações. Isto poderia ser aplicado à mudança conceitual, de modo que os estudantes de humor positivo são capazes de detectar discrepâncias entre as novas informações e concepções existentes tornando mais provável uma mudança em seus esquemas. Por outro lado, aqueles com um humor negativo tendem a considerar os detalhes da situação. Assim, os alunos de humor negativos podem processar a informação da situação, mas eles seriam menos propensos a relacionar as novas informações com conhecimento prévio e, portanto, a mudança conceitual seria improvável de ocorrer” (Linnenbrink e Pintrich, 2002, pag 118, tradução nossa).

Já Teixeira e Mortimer (2003) publicaram um trabalho no qual investigam o papel de reações emocionais em aulas de química. Segundo os autores, os estudos das dimensões afetivas no ensino focalizam elementos como interesses, motivação,

crença e atitudes, desconsiderando o papel das emoções, como prazer, medo, dor, surpresa, alegria ou tristeza. Assim, eles optam por analisar como aspectos emotivos na interação professor-aluno contribuem para o surgimento de sentimentos positivos ou negativos com relação à química. O mais interessante foi a abordagem nada ortodoxa utilizada pelos pesquisadores. Baseados nos trabalhos do neurocientista Antonio Damasio (1994), que faz a distinção entre dois tipos de emoção (primária e secundária), de Darwin (1872) e Griffiths (1997), que revelam como as emoções primárias são universais e podem ser facilmente reconhecidas por mudanças na expressão facial, os pesquisadores identificaram e avaliaram a evolução dos sentimentos e humor na sala de aula ao longo do tempo.

Para isso, gravaram em vídeo 71 aulas e fizeram a análise das expressões faciais, respostas muscoesqueléticas e mudanças na entonação da voz dos alunos e professor. A pesquisa foi realizada com duas turmas de um mesmo professor, numa mesma escola pública de periferia de uma metrópole brasileira. Foram analisados 46 estudantes de uma classe e 49 de outra (Teixeira e Mortimer 2003). Uma das turmas (B) apresentou, desde o início, emoções positivas, de modo que uma relação amigável foi facilmente construída. A outra turma (A), pelo contrário, apresentou, com muita frequência, emoções negativas.

Os resultados encontrados por estes pesquisadores indicam que as emoções geraram diferentes sentimentos nas duas turmas e influenciaram significativamente a relação dos alunos com a disciplina, visto que a maioria dos alunos da turma A terminou o curso revelando que não gostava de química.

Além disso, é interessante ressaltar que os autores afirmam que os problemas encontrados pelo professor foram de natureza emocional e afetiva, já que se tratava de uma profissional competente que realizava em suas aulas as mais diversas atividades, relacionando os conceitos científicos com fenômenos e aplicações no cotidiano dos alunos. Para Teixeira e Mortimer

“Os dados apresentados neste artigo apresentam evidências de que a competência do professor em instalar e manter uma abordagem centrada no aluno em sala de aula e sua perícia em relacionar conhecimentos químicos com

fenômenos cotidianos não foram suficientes para garantir uma proximidade afetiva entre alunos e química da escola. A construção de um *background* de sentimentos positivos e bom humor em sala de aula parece exigir uma constante reavaliação das estratégias utilizadas pelo professor, bem como o controle sobre suas reações emocionais, o que nem sempre é possível, dado o caráter automático das emoções primárias. Em qualquer caso, a análise do desenvolvimento das emoções, sentimentos e humor nas interações em sala de aula parece ser um aspecto importante a ser incluído em programas de desenvolvimento profissional de professores de ciências.” (Teixeira e Mortimer, 2003, pag 118, tradução nossa).

Nesta mesma linha, Custódio (2007) apresenta um trabalho no qual investiga a dimensão afetiva das explicações que os estudantes constroem sobre o mundo. Neste sentido, ele passa a buscar os mecanismos que conduzem à aceitação de uma explicação, explicitando padrões afetivos envolvidos nesse processo e apresentando critérios de qualidade de uma explicação escolar.

Para o autor, como as explicações intuitivas, forjadas pela experiência cotidiana, se superpõem às explicações científicas apresentadas no contexto escolar, um dos critérios de validação de uma explicação seria a capacidade desta de gerar o que é conhecido na literatura por sentimento entendimento. Este sentimento seria algo como uma satisfação intelectual afetiva, que surge ao se adquirir o entendimento de uma determinada explicação, possibilitando, assim, sua aceitação. Desta forma, esta pesquisa aponta justamente para a relação entre afetividade e cognição.

Por meio do uso de questionários e entrevistas semi-estruturadas, Custódio tem acesso às declarações de sentimentos e emoções dos participantes da pesquisa, alunos de graduação em Física e estudantes do Ensino Médio. Foram analisados dados advindos de três “experimentos”, como denominados pelo autor.

O primeiro deles tratou-se de um estudo exploratório da motivação de graduandos ingresso em cursos de Licenciatura em Física. Assim, 18 alunos de Física da Universidade do Estado de Santa Catarina, 10 alunos dos Institutos de Física e Química da Universidade de São Paulo e 45 alunos das turmas de Metodologia do

Ensino de Física I e II da Universidade de São Paulo participaram desta fase da pesquisa. A análise dos questionários indicou que os graduandos apresentam fortes razões de ordem afetiva na escolha da carreira científica. Custódio extrai das narrativas as cargas afetivas e tenta reconstruir as situações em que elas aparecem. Assim, são encontradas, considerando apenas uma citação por narrativa, 155 palavras afetivas em 73 questionários. O pesquisador codifica as palavras usando a idéia de emoções básicas apresentadas por distintos psicólogos, e encontra termos como satisfação, gostar, interesse e curiosidade. Desta forma, segundo o autor:

“A análise precedente mostrou que a razão para seguir a carreira na área científica, em particular da Física, é marcada por cargas afetivas, as quais não devem ser consideradas como um ruído. Mais do que isso, os resultados empíricos apresentados indicam que as explicações, como parte especial do conhecimento científico, são elementos vitais na construção desta satisfação afetiva oferecido pelo entendimento da natureza e da matéria transformada.” (Custódio, 2007, pag 162).

Logo, deste primeiro experimento, Custódio afirma que este resultado *“significa reafirmar que a explicação e o entendimento, no sentido subjetivo, que são capazes de gerar se configuram em elementos centrais na construção dos vínculos afetivos com o conhecimento da área científica, e da Física em particular”* (Custódio, 2007, pag 164).

No segundo experimento, Custódio busca validar sua hipótese de que vínculos afetivos entre os estudantes e o conhecimento científico determinariam a aceitação de uma determinada explicação. Desta maneira, a fim de compreender as manifestações afetivas que surgem no processo didático, o pesquisador busca explicitar os critérios utilizados pelos estudantes para validar explicações. Para tal, foram entrevistados 20 alunos da 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública em Florianópolis. A análise dos relatos dos estudantes apresentou evidências positivas da relação afetiva com o conhecimento científico.

O autor apresenta três asserções sobre esta parte de sua pesquisa: 1 - Os estudantes neste estudo mostraram consciência da atribuição de valores afetivos às explicações escolares. Tais valores, em geral, foram descritos em termos de sentimentos positivos associados ao entendimento gerado por explicações escolares; 2 - Critérios gerais de aceitação, que não apelam apenas ao corpo de conhecimento já estabelecido pelos estudantes, como satisfação e crença, foram sinalizados pelos estudantes entrevistados; 3 - A estabilização conceitual (e ou apropriação de um dado conhecimento) é um fator importante na relação afetiva entre estudantes e explicações escolares (Custódio 2007). Assim, segundo o autor, neste experimento, foi possível encontrar um nível de aceitação das explicações que depende do status afetivo da explicação e do status cognitivo atribuído a explicação.

Por fim, no experimento 3, que envolvia 15 alunos da 1ª série do Ensino Médio de uma escola pública de Florianópolis, Custódio faz uso de questionários e entrevistas semi-estruturadas para fazer inferências diretas, baseadas no conteúdo das explicações. A hipótese testada nesta fase da pesquisa era a de que quando os estudantes fossem expostos a explicações conceituais diferentes, eles optariam por aquela capaz de lhes parecer satisfatória.

Para isso, foi elaborado um teste que envolvia a escolha entre duas explicações, uma pertencente à Mecânica Clássica e outra à Mecânica Relativística, com a indicação, em escala Likert de 6 pontos, do grau de satisfação e crença que era atribuído às distintas explicações. Segundo o autor, os resultados deste experimento revelaram que uma explicação era considerada satisfatória ao mesmo tempo em que era considerada digna de crença pelos estudantes. Em resumo, de acordo com Custódio

“O que nós aprendemos com este experimento? Primeiro, os critérios satisfação e crença foram utilizados coerentemente pelos estudantes nesse estudo, segundo a análise quantitativa dos resultados. Como nós suspeitávamos uma explicação satisfatória é ao mesmo tempo incorporada como instrumento intelectual dos estudantes” (Custódio, 2007, pag 195).

Estas duas últimas pesquisas apresentadas, Teixeira e Mortimer (2003) e Custódio (2007), ainda que sejam passíveis de críticas, principalmente devido à escolha do referencial de análise e metodologia utilizada, mostram um caminho de investigação nunca antes utilizado na área de Ensino de Ciências. Elas revelam a complexidade de se buscar uma forma segura e criteriosa de perscrutar o papel das emoções na aprendizagem. Por exemplo, o que facilmente se detecta na maior parte das pesquisas que aborda este tema é dificuldade de se definir termos como emoção, afetividade ou interesse.

Da mesma forma, elaborar, por meio da psicologia cognitiva, formas de mensurar e avaliar a influência destas características na construção do pensamento é ainda mais complicado, levando assim, na maioria das vezes, a resultados vagos, que se tornam extremamente simplórios. Contudo, esta é tarefa da qual não se pode fugir quando se deseja investigar um tema intrinsecamente controverso e nada trivial. Como ressalta Alsop e Watts:

“No estudo do afeto, a metodologia está muitas vezes sobre um crescente escrutínio. A natureza efêmera, transitória, dos sentimentos e as tensões associadas com fazer do "irracional" racional servem como obstáculos na investigação empírica. (Alsop e Watts, 2003, pag 1044, tradução nossa).

Assim, as pesquisas que buscam avaliar o papel da afetividade no ensino focam-se, na maioria das vezes, em questionamentos sobre atitudes, enfatizando aspectos relacionados principalmente à motivação e interesse.

Desta maneira, ainda que as emoções e os sentimentos sejam considerados fundamentais nestas investigações, o papel que desempenham na aprendizagem dos conceitos científicos é raramente pesquisado. Mesmo os trabalhos de cunho sócio-cultural, ou os com abordagem CTS, que enfatizam o desenvolvimento de atitudes sobre as ciências, enfatizam os processos racionais e cognitivos. Ou seja, ainda que características afetivas estejam presentes implícita ou explicitamente, elas não se tornam objetos de pesquisa. Segundo Alsop e Watts:

“Apesar da crença generalizada de que as emoções são uma parte central do processo de ensino e aprendizagem, os trabalhos contemporâneos em Ensino de Ciências que exploram o afeto são escassos. Provavelmente há um número de razões para isso, incluindo, pelo menos, a imagem arquetípica da própria Ciência. Na Ciência, há uma longa tradição Newtoniana-Cartesiana de separação, desassociando a mente do corpo, divorciando e polarizando a razão do sentimento” (Alsop e Watts, 2003, pag 1044, tradução nossa).

Além da dificuldade intrínseca de acessar aspectos emocionais do sujeito, como dito anteriormente, a tradição das pesquisas em educação científica é centrada na racionalidade, alijando a emoção do processo de aprendizagem. Talvez porque a imagem construída a respeito da Ciência a faz figurar como a mais racional das construções humanas, desprovida de toda e qualquer parcela de emoção (Van Fraassen, 1980). Ainda que seus produtos sejam elaborados por meio de componentes lógicos, analíticos e experimentais, o trabalho de fabricação da ciência envolve uma série de aspectos emocionais, visto que estes guiam as concepções dos cientistas (Chalmers e Fiker, 1993; Chalmers, 1994; Bachelard, 1996).

Entretanto, nas últimas décadas, diversos filósofos da ciência trabalharam no sentido de revelar o equívoco que existe ao se considerar que o empreendimento científico se dá apenas por meio de uma base racional do pensamento, levando em consideração somente critérios racionais (Chalmers e Fiker, 1993; Chalmers, 1994; Thagard, 2002; Van Fraassen, 2002; Paty, 2005a; 2005b; 2005c).

No contexto da mudança conceitual, as fragilidades desta abordagem fortemente racionalista ou puramente cognitiva afloram. Pois, como discutido anteriormente, mesmo aqueles alunos que apresentam bons desempenhos nos testes escolares, após serem expostos a situações de conflito cognitivo, fornecem respostas que se remetem às suas concepções espontâneas, revelando que não incorporaram em seus aparatos cognitivos os modelos da ciência. Resultados como estes apontam que outros elementos, além daqueles pertinentes à racionalidade científica, forjados ao

longo da vida social dos estudantes, parecem ser determinantes para a construção do conhecimento. De acordo com Pietrocola (2001) e Custódio (2007), os alunos são capazes de manter vínculos afetivos com o conhecimento de Física.

Assim, nossa hipótese geral é que a emoção desempenha um papel fundamental na aprendizagem de conhecimentos científicos, em particular na Física. Acreditamos que a construção do conhecimento pelos estudantes não ocorre exclusivamente pela razão, havendo uma influência da emoção nesse processo.

Entretanto, percebemos que sem resultados mais robustos que permitam um aprofundamento mais rigoroso do tema, as pesquisas acerca da influência das emoções no Ensino de Ciências acabam por aparecer, quase sempre, de maneira ingênua e prescritiva.

Desta forma, com o intuito de contribuir para o entendimento e a compreensão do papel desempenhado pelos sentimentos e pela emoção no Ensino de Física, faremos uso de teorias e metodologias oriundas das Neurociências, estabelecendo um quadro teórico que permita perscrutar as possíveis alterações neurofisiológicas dos estudantes em situações de conflito cognitivo.

O objetivo principal é estabelecer um diálogo profícuo entre os educadores e neurocientistas, a fim de explorar e discutir os limites e possibilidades de inserção de novas abordagens em pesquisas educacionais.

Nossa pesquisa pretende mostrar como as técnicas da Neurociência atual podem colaborar com a busca por respostas a uma questão fundamental para a Educação Científica.

Capítulo III – Neurociência das emoções

*Há sempre um pouco de loucura no amor, mas
há sempre um pouco de razão na loucura.*

Friedrich Nietzsche

3.1 - “O que te emociona?”

A resposta a esta pergunta surge, quase que instantaneamente, quando recupero em minha memória o som ritmado, grave e contido de uma zabumba tocando baixinho. Ouvir este instrumento me emociona. Alívio ou choro, não sei o que é. Mas, sei que ouvi-lo me leva novamente a diferentes momentos de minha vida, fazendo com que eu reviva as infindáveis noites que passei dançando forró. Momentos de alegria, de tristeza, de bem-querer. Ouvi-lo, geralmente, traz-me o amparo. Contudo, pode trazer algo de bom ou ruim. Não sei. Depende do que vivo agora, quando o ouço.

A emoção é um sentimento complexo, profundamente atrelado a contextos e histórias de vida, a pessoas e situações. Descrevê-la é uma tarefa complexa. O que nos emociona, emociona porque é visceral; pois, nos toca mais do que superficialmente.

Para ser coerente com a própria natureza da emoção e não incorrer no erro de tratar este tema de forma superficial, optamos por nos filiar a um referencial teórico que é suficiente para alicerçar as discussões que estarão presentes nesta tese. Esta opção deve-se principalmente ao fato de que o tratamento da emoção por meio de fragmentos de ideias, mesmo que nos pareça adequado, só conduz a uma descrição pobre e descaracterizada da emoção. Isto porque estes fragmentos só fazem sentido real quando concatenados em seus próprios corpos teóricos.

Como a emoção é tratada na Educação quase que totalmente associada à motivação, acreditamos que pouco acrescentaria a este trabalho citar, de maneira

descontextualizada, as proposições de psicólogos e filósofos que são comumente utilizadas por educadores. Optamos, então, por uma abordagem pouco comum, apresentando de forma mais aprofundada um referencial com bases biológicas e que pode vir a ser mais e melhor utilizado em pesquisas em Educação.

Posto isto, salientamos, desde já, nossa opção por adotar o modelo teórico de emoção proposto por Antônio Damasio. Esta escolha se deve ao fato de que sua teoria possui um robusto arcabouço epistemológico, corroborado por evidências neurofisiológicas que revelam a existência de dois sistemas distintos.

Assim, um sistema está relacionado ao processamento cognitivo e outro ao processamento das emoções, mas ambos interagem entre si em uma complexa dinâmica. Com isso, o conhecido dualismo entre razão e emoção é revisto pelas ideias e trabalhos clínicos de Damasio, levando-o a propor uma teoria na qual cognição e emoção coexistem e se integram, de modo que uma não funciona corretamente sem a outra.

Tal teoria será melhor explicitada ainda neste capítulo. A seguir, apresentaremos algumas ideias que demarcam a distinção entre cognição e emoção que melhor se enquadra neste trabalho.

3.2 - Cognição X Emoção

Há séculos, as relações entre cognição e emoção e como elas afetam o comportamento humano têm fascinado e intrigado uma vasta legião de pensadores, filósofos, e cientistas. A compreensão destas relações e o entendimento de seus mecanismos de funcionamento têm sido tema recorrente nos estudos acerca da natureza humana. O dualismo entre cognição e emoção tem origens em 380-370 a.C, na obra *A República*, de Platão, na qual o filósofo apresenta seu modelo filosófico tripartite da estrutura da alma (Chatelet, 1994; Reale, 2004). Platão correlaciona a estrutura do Estado com a da alma, enfatizando que deve haver uma rígida separação entre as classes sociais e, correspondentemente, entre os componentes da alma. Ele

propõe que deve existir uma supremacia ética da cognição e, de modo correspondente às classes dos filósofos e reis.

Seu modelo da alma integra três diferentes elementos, cada um com um papel bem determinado e necessário para a condução adequada da vida pessoal. Assim, a alma seria contida de um elemento apetitivo ou impulsivo e de outro elemento: do pensamento e da razão; entre esses dois, um elemento chamado de "*thumos*", que seria capaz de conter os impulsos e desejos.

Tal estrutura, proposta Platão, considerava que a alma é caracterizada por um equilíbrio instável entre as suas funções superiores - razão e vontade - e suas funções inferiores - os instintos ou apetites -, levando assim à cisão entre cognição e emoção (Chatelet, 1994; Reale, 2004).

Ele é, então, considerado o primeiro pensador a postular de maneira sistemática esta distinção. Suas idéias influenciaram, direta ou indiretamente, todo pensador interessado em compreender a humanidade; ou nas palavras de Whitehead, "*A melhor categorização da tradição filosófica européia é que esta consiste de uma sucessão de notas de rodapé da obra de Platão*" (Whitehead, 1978, pag 39, tradução nossa).

O filósofo grego, em sua análise metafísica do Estado Ideal, prega a supremacia da cognição, apresentando como virtude a troca das emoções, paixões e prazeres pelo pensamento. Nascia assim, no contexto da filosofia ocidental, a assunção de que cognição e emoção seriam processos mentais distintos e opostos.

Ainda que o modelo platônico tenha sofrido inúmeras modificações, sua influência pode ser facilmente encontrada nos trabalhos de outros filósofos, de Aristóteles a Kant, que, por exemplo, considerava as paixões como "enfermidades da alma" e, dentro desta abordagem dicotômica, afirmava que se Deus tivesse criado o homem para ser feliz, não o teria dotado de razão.

Além desta diferenciação, surgiu ainda a ideia de que a cognição é superior à emoção. Esta supremacia da razão é definitivamente estabelecida na filosofia ocidental no século XVII, com os trabalhos de René Descartes. Com sua célebre frase "*cogito, ergo sum*", instaurava-se a crença no poder da "razão fria" como guia para as ações

sensatas e como instrumento para se alcançar a verdade. As emoções, pelo contrário, conduziriam a ações equivocadas, sendo, assim, incapazes de gerar conhecimento. Desta forma, a oposição entre razão e emoção tornou-se uma crença extremamente enraizada na cultura ocidental, tornando-se, assim, quase uma verdade absoluta e irrefutável.

Como dito no início deste capítulo, foge do escopo deste trabalho aprofundar as questões filosóficas que envolvem a diferenciação entre cognição e emoção. Entretanto, é preciso ressaltar que, de maneira direta ou indireta, esta oposição está presente, ainda hoje, na comunidade acadêmica. Basta o fato de, no âmbito da Ciência, ser pregado que a busca pelas verdades científicas ocorre apenas por meio da razão.

Deste modo, a fim de se construir instrumentos capazes de capturar a inteligibilidade do mundo e estabelecer um quadro cientificamente adequado da realidade, é preciso que os cientistas sejam capazes de concentrar esforços para pensar e agir apenas guiados pela racionalidade, despindo-se suas emoções.

Assim, a dicotomia entre razão e emoção influenciou fortemente a maioria dos pensadores e cientistas, de modo que a comunidade científica sempre tendeu a negligenciar o estudo da emoção (Ledoux, 1993; Damasio, A., 1994; Ledoux, 1996; 2003; Gazzaniga, 2004).

Ainda que os trabalhos seminais de Charles Darwin (1873), em sua obra *The expression of the Emotions in Man and Animals* (Darwin, 1965), e de Willian James em *What is an Emotion?* (James, 1884, pag 391, tradução nossa) tenham colocado a emoção nas pautas das pesquisas científicas, foi somente há cerca de 40 anos que seu estudo deixou de ser preterido pelo da cognição (Davidson, 1993; Damasio, A., 1994; Damasio, 2000; 2001; Thagard, 2002; Adolphs, Tranel *et al.*, 2003; Davidson, Pizzagalli *et al.*, 2003; Thagard, 2005).

Provavelmente, a investigação acerca dos mecanismos biológicos das emoções passou a receber maior atenção da comunidade científica após o reconhecido trabalho de Paul Ekman e colaboradores, a partir de 1969 (Ekman, 1973; Ekman, Levenson *et al.*, 1983; Wilson, 1999; Thagard, 2005). Por meio de um estudo das expressões faciais

de indivíduos das mais diferentes culturas, estes pesquisadores propuseram que as emoções básicas podem ser anatomicamente distinguidas, implicando em uma base biológica inata para experiência emocional.

Desde então, nas últimas décadas, houve o surgimento e o fortalecimento de uma área de pesquisa denominada *Neurociência Afetiva*⁸, alavancada, principalmente, pelos avanços na tecnologia de neuroimagem, especialmente com o uso da Ressonância Magnética funcional (RMf) e da Tomografia por Emissão de Póstron (TEP).

Tais técnicas, que permitem perscrutar o cérebro *in vivo*, promoveram uma mudança significativa nas pesquisas sobre a atividade dos circuitos neurais e têm facilitado a investigação dos substratos neuronais das emoções (Ledoux, 1992; 1993; 1995; Adolphs, 1999; Kandel, 2000; Adolphs, 2003; Ledoux, 2003; Gazzaniga, Ivry *et al.*, 2007). Desta forma, há, atualmente, um maior entendimento sobre o papel da emoção nos mais diversos processamentos mentais, como, por exemplo, na regulação e constituição da memória, na aprendizagem e na atenção.

Os estudos em Neurociência lançaram luzes sobre esta relação, até então, tida como dicotômica. Atualmente, resultados de diferentes pesquisas sugerem fortemente a existência de uma interação entre Emoção e Cognição, de modo que esta relação mostra-se mais de integração do que de separação. Assim, a fim de apresentar o cenário no qual nossa pesquisa se insere, neste capítulo passaremos a discutir brevemente esta relação e a proposição de um modelo teórico advindo de estudos em Neurociência da emoção.

3.3 - Cognição e Emoção

Inicialmente, é necessário que se faça uma pequena ressalva acerca da diferenciação entre cognição e emoção. Tradicionalmente, o termo cognição faz referência a processamentos altamente sofisticados, como memória, atenção,

⁸ O termo original em inglês é *Affective Neuroscience*. Como não há uma tradução consagrada na literatura brasileira, optamos por traduzi-lo da mesma maneira que *Cognitive Neuroscience* foi traduzida.

linguagem, resolução de problemas e planejamento. Por meio do estudo de lesões e do uso da RMF, a literatura apresenta uma série de processos cognitivos associados à ativação de estruturas específicas no cérebro. Ainda que possa se requerer um maior rigor para a definição de cognição, este não parece ser um problema para os pesquisadores em Neurociências; ou seja, entre os cientistas, há pouca discordância quando se discute processos cognitivos, de modo que possíveis querelas têm maior ressonância no ambiente filosófico. Contudo, o mesmo não se pode dizer sobre como a emoção é definida.

Pode-se encontrar na literatura uma gama de definições. Talvez a mais comum seja a idéia de emoções básicas, como medo, raiva, alegria e tristeza. Alguns autores optam por definir as emoções em termos de processos neuronais envolvidos no processamento de comportamentos orientados, de modo que elas surgem por meio de um modelo de recompensa e punição. Também é possível encontrar a noção de “avaliação” (do inglês *appraisals*), definição ligada à capacidade de avaliar o que é sentido durante um determinado evento. Ou seja, não existe uma definição consensual sobre o que são as emoções.

É preciso, neste momento, ressaltar que a oposição entre emoção e cognição pode conduzir à problemática idéia de que existam no cérebro dois sistemas totalmente distintos. Mesmo em textos de Neurociência, não é incomum encontrar termos como “cérebro emotivo” em contraposição a “cérebro cognitivo”. Entretanto, ainda que hoje pareça estar bem estabelecido o conceito de especialização, ou seja, regiões diferentes do cérebro possuem diferentes funções (Kandel 2000; Gazzaniga 2004), seria um equívoco pensar em um “cérebro” exclusivo para cada.

Mesmo que inúmeros resultados de pesquisas indiquem que determinadas regiões do cérebro são mais requisitadas em tarefas inerentemente cognitivas enquanto outras estão mais associadas a tarefas com conteúdo emocional, a fronteira que separa a emoção da cognição não é, em absoluto, clara. Estes dois conceitos se misturam, de modo que diversos pesquisadores sugerem que os mecanismos subjacentes a eles fazem partes de sistemas neuronais distintos, mas que interagem entre si.

A maioria dos comportamentos complexos parecem ser de natureza mista, e emergem a partir de uma integração de redes neurais de diferentes regiões, de modo que estas duas componentes do comportamento parecem estar integradas, em um imbricado processo que o determina. (Izard, Kagan *et al.*, 1984; Damasio, A., 1994; Damasio, 2000; Bless, 2001; Damasio, 2001; Damasio e Moss, 2001; Dolan, 2003; Gazzaniga, Ivry *et al.*, 2007).

3.4 - O que é uma emoção?

3.4.a - Dois importantes modelos

Como dito anteriormente, atualmente não existe uma definição consensual para a emoção (Plutchik, 1980; Davidson, 1993; Plutchik e Plutchik, 2002; Ednie, 2005), de modo que termos como emoções e sentimentos podem variar substancialmente dependendo das diferentes teorias. Ainda assim, apesar de um quadro bem definido parecer estar longe do desejado, constantemente as neurociências obtêm dados que indicam a participação de determinadas estruturas cerebrais na gênese das emoções (Ledoux, 1992; Davidson, 1993; Ledoux, 1993; 2003).

Por tudo isto, não é raro encontrar uma confusão terminológica entre afeto, sentimentos e emoções, termos que podem significar processos relacionados, mas distintos, e que são frequentemente usados de forma equivalente, levando-nos a não saber exatamente o foco do estudo em questão. A fim de clarificar o termo emoção, vamos rever duas das mais tradicionais definições oferecidas no campo de estudo das emoções, pois ainda que modificadas, elas guardam forte relação com os modelos atuais em Neurociência.

A busca pela compreensão científica das bases biológicas das emoções iniciou-se no final do século XIX, principalmente com as obras de Charles Darwin e William James. Em seu livro, "*The expression of the Emotions in Man and Animals*", Darwin (1873) sugeriu que a emoção é um fenômeno evolucionário que, certamente, teve um papel de fundamental importância na sobrevivência dos animais. Deste trabalho, fruto

de 34 anos investigando a emoção, deve-se ressaltar duas grandes contribuições para a “Neurociência Afetiva”: o uso de pesquisas com animais para a compreensão da emoção humana e a busca pela existência de diferentes substratos neurais para diferentes tipos de emoção.

Segundo Ekman (1973), a influência do trabalho de Darwin se deu pelo fato de ele apresentar, por meio da análise e comparação de esquemas e fotografias de animais e pessoas em diferentes estados emocionais, uma série de similaridades, sugerindo que as emoções são homólogas em animais e homens. Ademais, Darwin propôs a existência de um conjunto limitado de emoções básicas (alegria, raiva, medo, surpresa e tristeza) que seriam inerentemente biológicas e inatas, sendo, então, independentes das espécies e das culturas. Assim, para Darwin, as expressões emocionais seriam vestígio do processo evolutivo, significando que têm valor para a sobrevivência das espécies, além de serem importantes para a comunicação, para os seres humanos e animais.

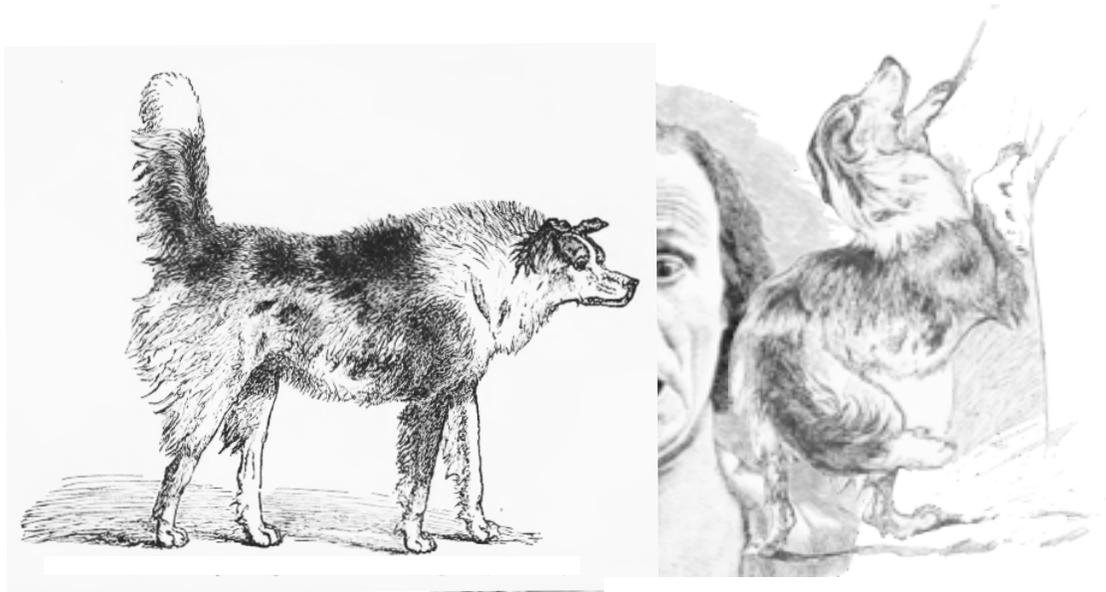


Fig.1 - Imagens de animais expressando emoções (Darwin, 1965, pags 54 e 55)
horror (Darwin, 1965, pag 299).



Fig.3 - Fotos de um homem expressando alegria, tristeza, raiva e aversão, apresentado por Paul Ekman em um congresso de antropologia em 1969 (Ekman, 2007, pags 28 e 29).

Em 1884, pouco depois deste trabalho de Darwin, o psicólogo e filósofo William James elaborou uma teoria que teria grande impacto na visão acerca do estudo das emoções. Em seu consagrado artigo *What is an Emotion?*, James (1884) contrapôs o trabalho de Charles Darwin e sugeriu que as emoções são constituídas por uma sequência de mudanças no corpo (como por exemplo, a alteração da pressão sanguínea, o aumento dos batimentos cardíacos, a dilatação das pupilas e as contrações musculares) devido à ocorrência de um estímulo. Este processo permite o surgimento de uma experiência emocional consciente. Ou seja, para James, são as reações fisiológicas que causam sentimentos e não o contrário.

"O senso comum diz que perdemos a nossa fortuna e lamentamos e choramos; se encontramos um urso, ficamos assustados e corremos; se somos insultados por um rival, ficamos irritados e revidamos. A hipótese a ser aqui defendida diz que essa ordem de sequência é incorreta, que um estado mental não é imediatamente induzido pelo outro, que as manifestações corporais devem primeiramente ser interpostas no meio, e que a afirmação mais racional é que nós sentimos pena porque choramos, ficamos zangados porque revidamos, temos medo porque trememos, e não que nós choramos, revidamos ou trememos porque estamos triste, com raiva ou medo, conforme cada caso. Sem estados corporais informando a percepção, o último seria puramente cognitivo em sua forma, claro, incolor, destituído de calor emocional. Nós, então, poderíamos ver o urso, e julgar que o melhor é correr, receber o insulto e considerar um direito revidar, mas não poderíamos realmente sentir medo ou raiva" (James, 1884, pag 190, tradução nossa).

Ou seja, de acordo com James, uma pessoa sente-se triste porque chora e sente medo porque foge. Como as respostas fisiológicas possuem um padrão específico de resposta sensorial, cada tipo de emoção está, então, associada a uma mudança corporal. Nesta perspectiva, as emoções são essencialmente sensações físicas, ou seja, o cérebro reconhece as alterações fisiológicas que surgem em resposta a um estímulo externo e gera a emoção.

Após estes trabalhos pioneiros, os cientistas passam a buscar a elaboração de modelos neuroanatômicos funcionais para as emoções. Surgem assim alguns dos modelos mais conhecidos, como aqueles propostos por Walter Cannon e Philip Bard, ou o circuito criado por James Papez ou o sistema límbico de Paul MacLean. Foge do escopo desta tese aprofundar na descrição destes modelos⁹. Optamos por detalhar e discutir o trabalho de Antonio Damasio, que será a base do referencial teórico adotado nesta pesquisa.

3.4.b - O erro de Descartes

Em 1994, o neurologista Antonio Damasio apresenta sua teoria sobre a relação entre emoção e cognição de maneira mais informal no livro “*Descartes’ error: Emotion, reason and the human brain*”. Nele, Damasio mostra trabalhos científicos que dão suporte a sua teoria. Os resultados de seus testes empíricos trazem, então, fortes evidências da interação entre razão e emoção. Por isso, neste momento, iremos brevemente discutir os principais elementos de seu modelo teórico.

Nesta obra, Damasio apresenta o caso de Phineas Gage, um supervisor de construção de ferrovias na Nova Inglaterra, nos EUA, que sofre um acidente em 1848. Naquela época, a fim de construir uma passagem para os trilhos do trem, os operários dinamitavam as pedras que se encontravam em seu caminho. A técnica utilizada consistia na abertura de um buraco na rocha, no qual era colocada uma quantidade de pólvora, e, então, selado com areia. Assim, devido a esse lacre, a explosão ocorria para dentro da pedra, rachando-a. Do contrário, a explosão se projetava para fora da rocha. Para selar o buraco, o operário deveria socar a areia cuidadosamente com uma barra de ferro. Gage era o encarregado desta operação, que era sempre realizada com perfeição e segurança.

Entretanto, certo dia, após colocar a pólvora num buraco, Gage se distrai por um instante e, sem perceber que a areia ainda não havia sido colocada, começa a

⁹ Para maiores detalhes, ver Davidson, 1993; LeDoux, 1993. Para uma revisão, ver Dalgleish, 2004

pressionar a pólvora diretamente com a barra de ferro. Devido a isso, o atrito gera uma faísca, fazendo-a explodir. A barra, que tinha quase um metro de comprimento e cerca de 3 cm de diâmetro, é então projetada em alta velocidade contra o seu rosto. Ela penetra por sua bochecha esquerda, destrói seu olho, atravessa a parte frontal de seu cérebro e sai do outro lado, pelo topo de seu crânio.

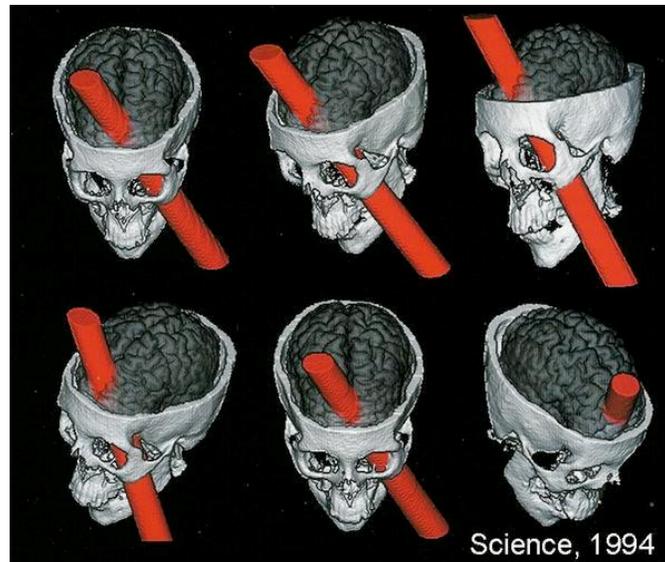


Fig.4 - Reconstituição do acidente com Phineas Gage (Damasio, Grabowski *et al.*, 1994)

Gage fica inconsciente e convulsionando, porém, momentos depois ele não só sobrevive, como recobra a consciência, sendo capaz de andar e de falar. Ele é levado a um médico local, Jonh Harlow que o socorre. Curiosamente, Gage se recupera do acidente, bem como do processo infeccioso que ocorreu na ferida. Após dois meses ele é considerado curado, tendo perdido apenas a visão do olho esquerdo e sem aparentar qualquer sequela motora ou problemas na linguagem.

Porém, ainda que tenha havido uma plena recuperação física, sua personalidade se modifica profunda e definitivamente. Mesmo que sua capacidade de aprendizagem, sua memória e sua inteligência estivessem intactas, seu comportamento social se transforma completamente. O homem responsável, astuto e

equilibrado muda radicalmente, a ponto de seus amigos não mais o reconhecerem. Após este acidente, ele rapidamente torna-se socialmente inadequado, irresponsável e grosseiro. Perde seu emprego e, desde então, nunca mais se estabiliza profissionalmente. Não por falta de competência ou condições físicas, mas por consequência da perda da capacidade de tomar decisões acertadas. Ele passa o resto de sua vida vagando pelos EUA, e morre após um ataque epiléptico em 1860, doze anos depois do acidente, quando trabalhava como uma aberração circense.

Damasio inicia seu livro com o relato deste caso, pois, segundo ele:

“[...] a história de Gage sugeriu este fato espantoso: em certo sentido, existiam sistemas no cérebro humano mais dedicados ao raciocínio do que quaisquer outros e, em particular, às dimensões pessoais e sociais do raciocínio. A observância de convenções sociais e regras éticas previamente adquiridas poderia ser perdida como resultado de uma lesão cerebral, mesmo quando nem o intelecto de base, nem a linguagem mostravam estar comprometidos. Involuntariamente, o exemplo de Gage indicou que algo no cérebro estava envolvido especialmente em propriedades humanas únicas e que entre elas se encontra a capacidade de antecipar o futuro e de elaborar planos de acordo com essa antecipação no contexto de um ambiente social complexo; o sentido de responsabilidade perante si próprio e perante os outros; a capacidade de orquestrar deliberadamente sua própria sobrevivência sob o comando do livre-arbítrio” (Damasio, A., 1994, pag 30, tradução nossa).

O autor cria, assim, o cenário para apresentar e desenvolver sua teoria acerca da relação entre emoção e cognição. Mais de quinze anos de estudos clínicos com inúmeros pacientes com lesões no cérebro, em especial no córtex pré-frontal ventromedial (CPFVM), levaram Damasio a perceber a similaridade entre estes doentes e Gage. Da mesma forma que ele, estes pacientes apresentavam uma grande mudança em seus comportamentos. Principalmente, eles mostravam uma

incapacidade em tomar decisões adequadas em suas vidas, ainda que possuíssem um intelecto totalmente normal.

Assim, ao reconstruir o caso de Phineas Gage e investigar o que ocorria com seus pacientes, Damasio chama atenção para o estudo do que é conhecido por “síndrome do lobo frontal” (Damasio, Tranel *et al.*, 1990; Saver e Damasio, 1991; Damasio, 1995). Ele aprofunda suas investigações e revela que os lobos frontais estão ligados ao processo de tomada de decisão, ao desempenho de um conduta socialmente adequada e ao desenvolvimento da personalidade dos indivíduos (Damasio, 1995; Damasio, Everitt *et al.*, 1996; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 1999; Bechara, A, Damasio, H *et al.*, 2000).

Algo que chamou a atenção do neurocientista foi o fato de que além dos prejuízos já relatados, seus pacientes apresentavam a capacidade de sentir emoções fortemente diminuídas. Assim, a busca pela compreensão dos sistemas cognitivos e substratos neurológicos envolvidos no processo de tomada de decisões, levou-o a investigar o que são as emoções e como são geradas e processadas pelo cérebro.

Em termos de sobrevivência da espécie, executar respostas automáticas e de processamento rápido diante de uma determinada situação de risco é extremamente vantajoso. Para o autor, é bastante provável que a emoção seja fruto da história evolutiva do homem. Assim, os mecanismos cerebrais subjacente às emoções foram se desenvolvendo ao longo do tempo. Inatos, eles são determinados biologicamente, de modo que a cultura e o aprendizado lhes agregam apenas novos significados. Damasio então propõe que:

“os sistemas, dos quais as emoções e os sentimentos dependem de forma crítica, incluem não só o sistema límbico, uma idéia tradicional, mas também alguns dos córtices pré-frontais do cérebro e, de forma mais importante, os setores cerebrais que recebem e integram os sinais enviados pelo corpo.”
(Damasio, A., 1994, pag 155, tradução nossa)

Neste modelo teórico, as emoções são desencadeadas por determinados estímulos, originando programa de ações diferentes (que inclui estratégias cognitivas), conforme o tipo de emoção. Ou seja, de acordo com esta teoria, o substrato para a representação de um estado emocional é uma coleção de padrões neurais no cérebro, que são ativados como uma reação a certo estímulo. Quando uma resposta emocional é criada, isto implica necessariamente em uma alteração, tanto no estado do corpo, quanto em regiões do cérebro. Segundo Damasio,

“[...] estamos programados para reagir com uma emoção de modo pré-organizado, quando certas características de determinados estímulos, no mundo ou nos nossos corpos, são detectadas individualmente ou em conjunto. Exemplos dessas características são o tamanho (animais de grande porte); uma grande envergadura (águias em vôo); o tipo de movimento (como o dos répteis); determinados sons (como os rugidos); certas configurações do estado do corpo (a dor sentida durante um ataque cardíaco)” (Damasio, A., 1994, pag 159, tradução nossa).

Tais estímulos seriam processados e depois detectados por sistemas neurais que possuem uma representação emocional associada a estes estímulos. Esta associação, então, irá gerar a ativação de um estado do corpo, característico da emoção evocada, alterando o processamento cognitivo de modo a corresponder a este estado emocional. O neurocientista ressalta que:

“[...] para se gerar uma resposta do corpo, não é sequer necessário “reconhecer” o urso, a cobra ou a águia como tal, ou saber exatamente o que provoca a dor. Basta apenas que os córtices sensoriais detectem e classifiquem a característica ou características-chave de uma determinada entidade (isto é, animal, objeto) e que estruturas como a amígdala recebam sinais relativos a sua presença conjunta. Um pinto no alto de um ninho não faz idéia alguma do que é uma águia, mas reage de imediato com alarme e esconde a cabeça quando um objeto de asas largas o sobrevoa a uma

determinada velocidade” (Damasio, A., 1994, pag 160, tradução nossa)

A emoção é concebida como um “objeto neural”, que modifica o estado corporal, com a liberação de mensagens químicas, neurais e a ativação de áreas cerebrais, criando um estado emocional. Desta maneira, o corar de um rosto, o aumento do ritmo cardíaco, ou o aumento da secreção das glândulas sudoríparas são exemplos dessas alterações fisiológicas, ou “estados somáticos”.

O uso do termo somático se refere à palavra grega “Soma”, que significa corpo. Damasio emprega a expressão “estado somático” fazendo referência a mudanças fisiológicas, que acontecem no corpo, em resposta a um estímulo que possui uma carga emocional a ele associado. As diversas formas de emoção são mediadas por sistemas neurais distintos. O autor, então, define dois tipos de emoção, primária e secundária, e seus estímulos indutores.

Emoções primárias e seus indutores.

As emoções primárias são inatas, e surgem por meio do que ele denomina “**Indutores primários**”: determinados estímulos inatos ou aprendidos que possuem características capazes de gerar estados somáticos de prazer ou aversão.

Ao se deparar com um destes estímulos, uma resposta somática é gerada automática e obrigatoriamente. Os indutores primários podem ser objetos presentes no ambiente em que se encontra, como um animal raivoso, um carro desgovernado ou um bandido portando uma arma. Da mesma forma, também são indutores primários, conceitos e conhecimentos que, por meio da aprendizagem, podem gerar uma resposta emocional. Assim, ouvir uma notícia com um teor emocional, como o ganho de uma alta quantia em dinheiro ou a perda de um ente querido, produzem estes estados somáticos.

Emoções secundárias e seus indutores.

As emoções secundárias são aprendidas ou adquiridas, e podem gerar alterações no estado do corpo por meio de conteúdo de pensamentos ou lembranças relativos a um determinado acontecimento. Elas “[...] ocorrem mal começamos a ter sentimentos! e formar ligações sistemáticas entre categorias de objetos e situações, por um lado, e emoções primárias, por outro” (Damasio, A., 1994, pag 163, tradução nossa)

Os “***Indutores secundários***” são entidades geradas pela memória ou pela imaginação de eventos com teor emocional. Ou seja, lembranças e pensamentos de emoções primárias que são trazidas à memória, geram estados somáticos. São indutores secundários a lembrança de um episódio traumático, como a perda de um ente querido, ou a imaginação de se ganhar sozinho na loteria.

Segundo este modelo, um indivíduo ao lembrar ou imaginar uma cena com algum teor emocional, são formadas imagens mentais sobre características determinantes desta cena. Tais imagens passam por uma avaliação cognitiva do conteúdo desta cena, pois elas se organizam em um processo de pensamento capaz de analisar diferentes elementos da situação lembrada ou imaginada. Trata-se de um processo de reflexão sobre o que ocorre, revelando as consequências que esta situação acarreta para si e para outros. Isto implica em uma série de alterações no estado de seu corpo, definida por várias modificações em diferentes regiões do cérebro. Segundo o autor

“O substrato neuronal para essas imagens é uma coleção de representações autônomas topograficamente organizadas que ocorrem em diversos córtices sensoriais iniciais (visual, auditivo e outros). Essas representações são criadas sob o controle de representações dispositivas distribuídas por um grande número de córtices de associação.” (Damasio, A., 1994, pag 116, tradução nossa).

Após iniciado este processo, redes neurais, presentes no córtex pré-frontal, reagem aos sinais resultantes do processamento das imagens mentais. Isto se dá de maneira automática e involuntária, ocorrendo em um nível inconsciente.

“Essa resposta pré-frontal provém de representações dispositivas que incorporam conhecimentos relativos à forma como determinados tipos de situações têm sido habitualmente combinados com certas respostas emocionais na sua experiência individual. Em outras palavras, provém de representações dispositivas *adquiridas* e não *inatas*, embora as disposições adquiridas sejam obtidas sob a influência das inatas” (Damasio, A., 1994, pag 165, tradução nossa).

De acordo com a teoria proposta por Damasio, estas “representações dispositivas adquiridas” guardam justamente as experiências emocionais que um indivíduo passa ao longo da vida. Ainda que essas experiências possam variar, as relações entre o tipo de situação vivida e emoção a ela associada são, em grande parte, semelhantes para diferentes indivíduos. Entretanto, é a vivência pessoal e única que permite a personalização desse processo para cada indivíduo (Damasio, A., 1994).

Em resumo: disposições pré-frontais adquiridas, necessárias para as emoções secundárias, são distintas das disposições inatas, aquelas necessárias para as emoções primárias. Mas, as primeiras precisam das últimas para poderem se expressar. *Em outras palavras, as emoções secundárias utilizam a maquinaria das emoções primárias.* (Damasio, A., 1994, pag 165, tradução nossa).

Assim, ao apresentar sua teoria sobre as emoções, Damasio trabalha o conceito de sentimento para, então, propor a hipótese dos marcadores somáticos.

O Sentimento

Resumidamente, segundo Damasio, a emoção é uma resposta ao conteúdo de determinados estímulos (presentes no ambiente externo ou na mente do indivíduo) que produz uma alteração temporária do estado do corpo e do estado de diferentes estruturas cerebrais. Ou seja, mudanças fisiológicas são induzidas devido ao conteúdo emocional de diferentes tipos de estímulos.

Tais modificações, como alteração na frequência cardíaca, contração muscular, aumento da resposta das glândulas endócrinas etc, muitas vezes podem não ser detectadas por um observador externo, visto que estas ocorrem internamente. Para o autor

“Todas as emoções usam o corpo como teatro (meio interno, sistemas visceral, vestibular e músculo-esquelético), mas as emoções também afetam o modo de operação de inúmeros circuitos cerebrais: a variedade de reações emocionais é responsável por mudanças profundas na paisagem do corpo e do cérebro. O conjunto dessas mudanças constitui o substrato para os padrões neurais que, em última instância, se tornam sentimentos de emoção” (Damasio, A. R., 1994, pag 158, tradução nossa).

Entretanto, não bastam as alterações dos estados do corpo para determinar uma emoção, sendo necessário também o que Damasio chama de “sensação da emoção” em relação ao objeto que a desencadeou. Desta feita, um sentimento é a percepção interna da relação entre objeto e estado emocional do corpo.

“À medida que ocorrem alterações no seu corpo, você fica sabendo da sua existência e pode acompanhar continuamente sua evolução. Apercebe-se de mudanças no estado corporal e segue seu desenrolar durante segundos ou minutos. Esse processo de acompanhamento contínuo, essa experiência do que o corpo está fazendo *enquanto* pensamentos sobre conteúdos específicos continuam a desenrolar-se, é a essência daquilo que chamo de

um sentimento. Se uma emoção é um conjunto das alterações no estado do corpo associadas a certas imagens mentais que ativaram um sistema cerebral específico, *a essência do sentir de uma emoção é a experiência dessas alterações em justaposição com as imagens mentais que iniciaram o ciclo.* Em outras palavras, um sentimento depende da justaposição de uma imagem do corpo propriamente dito com uma imagem de alguma outra coisa, tal como a imagem visual de um rosto ou a auditiva de uma melodia. O substrato de um sentimento completa-se com as alterações nos processos cognitivos que são induzidos simultaneamente por substâncias neuroquímicas (por exemplo, pelos neurotransmissores numa série de pontos neurais, em resultado da ativação dos núcleos neurotransmissores que faziam parte da resposta emocional inicial)” (Damasio, A. R., 1994, pag 174, tradução nossa).

Então, um sentimento surge quando se percebe o estado do corpo, que foi alterado por meio de um conjunto de padrões neuronais induzidos por um estímulo carregado de conteúdo emocional. Uma emoção só é sentida quando se percebe que algo está ocorrendo no corpo, sendo o sentimento uma espécie de “corporificação” da emoção. O sentimento, segundo o modelo aqui proposto, é formado de imagens mentais oriundas de padrões neuronais (que compõem a emoção) que representam alterações no corpo e no cérebro.

Os marcadores somáticos: explicando Gage

Como dito anteriormente, o estudo com pacientes com lesões no cérebro levou Damasio a investigar o papel das emoções no processo de tomada decisão - habilidade que era severamente prejudicada nestes indivíduos. Os resultados de suas investigações o levaram a propor a hipótese dos **marcadores somáticos**, conceito que poderia explicar a incapacidade desses pacientes em tomar decisões vantajosas na vida real.

Os marcadores somáticos fazem parte de um mecanismo emocional intrincado, conectando emoção e cognição. De maneira resumida, esta hipótese propõe que, antes de uma decisão ser racionalizada em termos de uma análise custo/benefício, o organismo reduz drasticamente as opções de escolha, de maneira inconsciente. E isto ocorre em função de respostas corporais, ou seja, alterações fisiológicas que estão associadas a experiências anteriores. Tais marcadores somáticos vão sendo criados ao longo da vida, durante o processo de socialização e de inserção cultural.

Cada situação vivida faz com que um determinado estado do corpo seja associado a uma sensação, de modo que as imagens mentais formadas a partir desta situação ficam emocionalmente marcadas. Os marcadores somáticos são, dentro deste modelo, parte de um processo de avaliação inconsciente que ocorre durante as tomadas de decisão. Eles aumentam a eficiência de uma escolha, destacando as características vantajosas de uma alternativa (que estariam “fisiologicamente marcadas”, por exemplo, com um estado corporal agradável, de conforto), e eliminando aquelas desvantajosas (“marcadas fisiologicamente”, por exemplo, com um estado corporal desagradável, desconfortável). Seriam justamente estes marcadores somáticos que estariam comprometidos nos pacientes lesionados, prejudicando, assim, o processo de tomada de decisão.

Desta forma, Damasio propõe que mesmo as decisões consideradas as mais frias e racionais possíveis, seriam influenciadas também pelas emoções. Como os marcadores somáticos são de suma importância para esta pesquisa, eles serão apresentados de maneira mais aprofundada no próximo capítulo, no qual focalizaremos principalmente o teste empírico de nossas hipótese e a descrição do experimento.

Capítulo IV – Metodologia de Pesquisa

Um cientista em seu laboratório não é um mero técnico: ele também é uma criança que confronta fenômenos naturais que o impressionam como se eles fossem contos de fadas.

Marie Curie

4.1 - Educação: onde nascem nossas questões

A Mudança Conceitual, como modelo de ensino-aprendizagem, concebe a aprendizagem como resultado de uma decisão racional sobre conflitos de ordem cognitiva. Desta forma, neste modelo, quando um estudante precisa decidir entre uma representação científica e uma concepção alternativa, ele ignora a influência das emoções. Os estudos em Neurociência, entretanto, têm evidenciado que a tomada de decisão depende fortemente de um acurado processamento emocional.

Assim, o objetivo do presente trabalho é investigar a relação estabelecida entre a emoção e o conhecimento científico. Nossa hipótese principal é que a emoção tem um papel importante na aceitação/rejeição de uma representação científica de situações/fenômenos relacionados ao mundo Físico. Além disso, investigaremos se estados emocionais podem ter um impacto na tomada de decisão quando da interpretação de diferentes representações de mundo, a científica e aquelas relacionadas às concepções intuitivas.

De maneira específica, nossa tese é que o julgamento sobre a validade de uma representação de mundo se dá para além de critérios fundamentados em uma racionalidade objetiva. Desse modo, iremos investigar se existe algum tipo de conexão emocional com as representações de situações física, sejam elas científicas ou não.

As representações são um dos campos melhor estudado da área de Ensino de Ciências. Durante várias décadas, pesquisas foram capazes de levantar os tipos de

representações de alunos sobre diversos domínios das ciências experimentais. Estes estudos foram considerados uma espécie de “cartografia” ou mapa dos modos de representação de fenômenos tratados pela Ciência. Acreditamos que a existência deste mapeamento oferece um contexto de interesse aos objetivos desta tese. Iremos detalhar, adiante, como utilizamos tais concepções, ditas alternativas, como meio de produzir situações para serem respondidas por Experts e Novatos.

4.2 - Neurociência: onde emergem nossas respostas

A opção por uma pesquisa como a aqui apresentada não foi uma tarefa simples. Estamos diante de uma questão complexa e com um processo nada trivial de busca por respostas. O estudo das emoções por meio da Neurociência é fascinante, intrigante e repleto de nuances que o tornam por demais complicado. Ao mesmo tempo, buscar nesse estudo implicações para o Ensino de Física aumenta consideravelmente o grau de complexidade intrínseco em uma pesquisa desta natureza. Isto por que necessitamos conciliar as especificidades de duas áreas bem distintas, a fim de realizar um trabalho coerente e que, ao mesmo tempo, seja válido em ambos campos de conhecimento.

Desta forma, um de nossos objetivos é apresentar um caminho a ser explorado por Educadores e Neurocientistas que, colaborando mutuamente, podem gerar resultados capazes de informar a Educação e, ao mesmo tempo, contribuir para ampliar o conhecimento acerca do funcionamento do cérebro nos processos de ensino e aprendizagem.

Nesta perspectiva, nossa pesquisa faz uso da metodologia e referenciais teóricos da Neurociência para o estudo de um tema importante para o Ensino de Ciências. O uso da metodologia para esta pesquisa encontra suporte nos mais diversos textos acadêmicos na Neurociência, ao mesmo tempo em que buscamos reforçar a importância em se considerar o contexto educacional no qual esta pesquisa se encontra inserida.

4.3 - Referencial teórico-metodológico: Damasio e a concepção alternativa de Descartes

Para investigarmos experimentalmente nossas hipóteses, tivemos de escolher qual aspecto de nossas questões e quais técnicas utilizadas nos estudos em Neurociência Cognitiva faziam mais sentido e, sobretudo, se seriam possíveis de serem realizadas ao longo deste trabalho de pesquisa. Iremos, neste momento, apresentar o contexto no qual se inseriu a realização deste experimento, visto que tal cenário foi de extrema importância para a escolha do caminho teórico-metodológico que utilizamos.

Em 2008, travamos contato com o grupo de pesquisa em Neurociências da *University of Southern California*, em Los Angeles, liderado pelo pesquisador Dr. Antonio Damasio. Reconhecido como uma das maiores autoridades em Neurociência das Emoções, ele dirige o *Brain and Creativity Institute*, onde, entre outras linhas de pesquisas, busca estabelecer conexões entre Neurociência e Educação.

Tal contato gerou a possibilidade de um estágio sanduíche de um ano, para a realização da pesquisa aqui apresentada. O delineamento e execução deste experimento foram desenvolvidos neste estágio e, por conseguinte, parte importante da definição da metodologia e do suporte teórico que adotamos nesta pesquisa estão em sintonia com os trabalhos lá realizados.

Após inúmeras discussões com este grupo de pesquisa, concluímos que diante da complexidade das questões fazia sentido iniciar nossa investigação pelo estudo das respostas do sistema nervoso autônomo. Isto implicou na criação de um experimento capaz de nos fornecer respostas em um tempo relativamente pequeno e a um custo compatível com o financiamento disponível. Este tipo de experimento baseia-se no seguinte fato:

“[...] quando geramos o estado somático que caracteriza uma determinada emoção, o sistema nervoso autônomo constitui provavelmente a chave para

se obter a alteração adequada dos parâmetros fisiológicos no organismo [...] Entre as respostas do sistema nervoso autônomo que podem ser investigadas em laboratório, a da condutância da pele afigura-se talvez como a mais útil. É fácil detectá-la, e confiável e foi estudada com minúcia pelos psicofisiólogos em indivíduos normais de diversas idades e culturas” (Damasio, A. R., 1994, pag 196, tradução nossa).

Logo, a coleta de variáveis psicofisiológicas, como mudanças na condutância da pele, frequência cardíaca e taxa de respiração, constituíram um elemento central na investigação inicial dos trabalhos de Damasio sobre a Neurociência das Emoções. Este foi então o ponto de partida ideal para nossa pesquisa, visto que nos fornece uma via de acesso às respostas emocionais dos indivíduos testados (Bechara, Damasio *et al.*, 1994; Bechara, 1996; Damasio, Everitt *et al.*, 1996; Damasio, 1996; Bechara, Damasio *et al.*, 1997; Damasio, Tranel *et al.*, 1998; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 1999; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 2000; Bechara, Damasio *et al.*, 2003; Bechara, Damasio *et al.*, 2005)

Os trabalhos de Damasio e colaboradores enfatizam o papel das vísceras, tecidos que são inervados pelo sistema nervoso autônomo (como coração, pulmões intestinos, pele), considerando que mudanças viscerais são intimamente ligadas à expressão de emoções. Seus trabalhos revelam que as representações sensoriais de alterações nas vísceras são substratos neurais essenciais para sentirmos emoções. Segundo o autor:

“Dentro deste quadro teórico, as respostas viscerais não são apenas vestígios de nosso passado evolutivo, elas são componentes integrais da nossa racionalidade, nosso comportamento social e ético. Assim, visto que elas fornecem informações sobre processos cognitivos e emocionais que não podem ser determinados por qualquer outra técnica, a medição das alterações psicofisiológicas viscerais é uma ferramenta essencial no estudo da cognição, emoção e, especialmente, a cognição de estímulos que guiam a tomada de decisão” (Damasio, A. R., 1994, pag 219, tradução nossa).

Desta forma, optamos por utilizar em nosso experimento a coleta de uma variável psicofisiológica, cujas alterações refletem processos mentais de modo que podemos, assim, investigar o papel das emoções durante a realização de um teste de Física. Iremos apresentar nesta tese os dados referentes às mudanças na condutância da pele (RCP) dos sujeitos enquanto executavam o experimento que elaboramos.

Em outras palavras, investigamos se diferentes padrões psicofisiológicos podem estar associados com diferentes performances em testes utilizados para identificar concepções intuitivas. Especialmente, também investigamos se a magnitude das respostas de condutância da pele (RCP) antecipatórias, aquelas geradas antes da escolha das representações apresentadas durante o teste, podem guiar as escolhas feitas por Físicos (Experts) e não-físicos (Novatos).

Partimos da idéia de que, nesses testes, respostas somáticas podem mediar a tomada de decisão, na qual o sujeito deverá escolher entre representações científicas e concepções intuitivas. Desta forma, de acordo com nossas hipóteses, altas RCP serão associadas significativamente com representações científicas mostradas aos Experts. Por outro lado, altas RCP serão associadas significativamente com concepções intuitivas mostradas aos Novatos.

Propomos que há uma associação entre o resultado de cada escolha e o padrão psicofisiológico, que é associado a certo “link” emocional com diferentes representações. Esta associação é guardada na memória, forjada em nossa vida cotidiana, e, neste tipo de teste, participa das escolhas feitas por esses dois grupos de sujeitos, Físicos e não-físicos.

4.3.1 - O que é a condutância da pele?

À medida que nosso organismo se altera em resposta a um estímulo qualquer, seja ele externo, como a visão de uma cobra, ou interno, como um pensamento, estados somáticos são associados a essas mudanças, e nosso sistema nervoso

autônomo aumenta a secreção de eletrólitos por meio das glândulas sudoríparas, ou seja, passamos a suar mais, mesmo que de maneira extremamente sutil. Ainda que não sejamos capazes de detectar esse aumento da quantidade de suor a olho nu, ele pode ser detectado ao se medir o fluxo de corrente elétrica que passa pela pele.

Assim, quando se aplica uma pequena tensão entre dois eletrodos conectados, por exemplo, na palma da mão, pode-se medir a corrente elétrica resultante que flui no circuito e a amplitude dessa corrente é proporcional à condutância da pele. O termo condutância se refere, então, a uma propriedade oposta à de resistência elétrica e é medida em microsiemens (μS).

A condutância da pele é medida, em geral, a partir das palmas das mãos ou sola dos pés, pois além de serem de fácil acesso, possuem alta densidade de glândulas sudoríparas écrinas. Para Naqvi, “as palmas e plantas, coletivamente chamadas de superfícies “volar”, são únicas, visto que a transpiração écrina nestas áreas está relacionada com processos mentais, ao invés de termorregulação.” (Naqvi e Bechara, 2006a, pag 105, tradução nossa)

4.3.2 - A hipótese do marcador somático

Como exposto no capítulo anterior, o estudo de pacientes com lesões no córtex pré-frontal ventromedial (CPFVM), mostrou-se um desafio, visto que embora esses pacientes estivessem com suas capacidades cognitivas intactas, com uma performance normal em diversos testes neuropsicológicos, eles apresentavam um grande comprometimento na habilidade de expressar emoções e experimentar sentimentos, além de apresentar um prejuízo na tomada de decisões em situações normais da vida.

Assim, a hipótese do Marcador Somático, proposta por Damasio surgiu na tentativa de entender este surpreendente déficit, ao analisar como danos ao CPFVM podem ter efeitos profundos sobre o trabalho e comportamento social sem provocar quaisquer prejuízos evidentes no intelecto e do desempenho cognitivo (Bechara,

Damasio *et al.*, 1994; Damasio, A. R., 1994; Bechara, 1996; Damasio, Everitt *et al.*, 1996; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 2000).

Esse modelo teórico vem sendo discutido e testado ao longo da última década e, hoje, é usado em diversas pesquisas acerca dos substratos neurais envolvidos no processamento das emoções e nos processos de tomada de decisão (Bechara, Damasio *et al.*, 1994; Damasio, A. R., 1994; Damasio, 1996; Damasio, Tranel *et al.*, 1998; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 2000; Bechara, Tranel *et al.*, 2002; Adolphs, Tranel *et al.*, 2003).

A hipótese é que os marcadores somáticos são sinais enviados pelo corpo, que são representados e regulados no circuito de emoção do cérebro, particularmente, no CPFVM, que medeia e regula os processos de tomada de decisão em situações de complexidade e incerteza (Damasio, Everitt *et al.*, 1996; Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 2000). De acordo com este modelo, estes sinais atribuem um valor a determinadas ações ou cenários e passam então, conscientemente ou não, a participar de maneira determinante no processo de tomada de decisão.

Segundo Damasio, diante de uma situação na qual é necessário se decidir o que fazer, antes de se raciocinar, buscando encontrar a solução do problema, como analisando as relações de custo/benefício ou imaginando os mais diferentes cenários possíveis, o indivíduo tem uma sensação corporal automática, que seria o marcador somático.

“Quando lhe surge um mau resultado associado a uma dada opção de resposta, por mais fugaz que seja, você sente uma sensação visceral desagradável. Como a sensação é corporal, atribuí ao fenômeno o termo técnico de estado somático (em grego, soma quer dizer corpo); e, porque o estado “marca” uma imagem, chamo-lhe marcador. Repare, mais uma vez, que uso somático na acepção mais genérica (aquilo que pertence ao corpo) e incluo tanto as sensações viscerais, como as não viscerais quando me refiro aos marcadores-somáticos”.(Damasio, A. R., 1994, pag 206, tradução nossa).

Assim, quando se imagina um resultado associado a uma dada opção, alguma sensação corporal (somática) ocorre. Caso esse marcador somático esteja superposto a uma sensação agradável, ele faz convergir a atenção para o resultado positivo a que a ação pode conduzir e atua como um sinal automático que incentiva e propõe a ação. Da mesma forma, dá-se o contrário; diante de resultado futuro negativo, a sensação desencadeada é desagradável e o marcador somático funciona como um alarme sinalizando o risco decorrente da escolha, podendo levá-lo a rejeitar o rumo da ação. Desta forma,

“O sinal automático protege-o de prejuízos futuros, sem mais hesitações, e permite-lhe depois escolher entre um número menor de alternativas. A análise custos/benefícios e a capacidade dedutiva adequada ainda têm o seu lugar, mas só depois de esse processo automático reduzir drasticamente o número de opções. Os marcadores-somáticos podem não ser suficientes para a tomada de decisão humana normal, dado que, em muitos casos, mas não em todos, é necessário um processo subsequente de raciocínio e de seleção final. Mas os marcadores-somáticos aumentam provavelmente a precisão e a eficiência do processo de decisão. Sua ausência as reduz” (Damasio, A. R., 1994, pag 238, tradução nossa).

Assim, partindo deste alerta, é possível que o sujeito rejeite imediatamente o rumo de ação negativo e tenha que escolher entre um número muito menor de alternativas. Este processo conta com a ajuda de componentes de aprendizagem (através da associação entre categorias específicas de estímulos e categorias específicas de estados somáticos), da capacidade atencional e da memória de trabalho, para que seja possível sua ocorrência (Bechara, Damasio *et al.*, 1998; Fellows e Farah, 2003; Bechara, Damasio *et al.*, 2005; Fellows e Farah, 2005; 2007).

Obviamente, estas respostas somáticas não tomam as decisões. Os marcadores somáticos auxiliam o processo decisório ao ressaltar algumas opções, tanto adversas como favoráveis, qualificando automaticamente as previsões, de forma que o sujeito

tenha um número muito menor de alternativas pela frente, facilitando, então, uma análise subsequente.

Como vimos no capítulo anterior, ainda que tenhamos nascido com uma circuitaria neural adequada à criação de estados somáticos em resposta a determinados estímulos, chamada por Damasio de “*maquinaria das emoções primárias*”, provavelmente, a maioria dos marcadores somáticos que participam da tomada racional de decisões é gerada no cérebro, por meio da aprendizagem e socialização; sendo, então, fruto de um processo educacional, que permite a associação de categorias específicas de estímulos a categorias específicas de estados somáticos, baseando-se assim na “*maquinaria das emoções secundárias*”.

“Em suma, os marcadores-somáticos são um caso especial do uso de sentimentos gerados a partir de emoções secundárias. Essas emoções e sentimentos foram ligados, pela aprendizagem, a resultados futuros previstos de determinados cenários. [...]. Os marcadores-somáticos são, portanto, adquiridos por meio da experiência, sob o controle de um sistema interno de preferências e sob a influência de um conjunto externo de circunstâncias que incluem não só entidades e fenômenos com os quais o organismo tem de interagir, mas também convenções sociais e regras éticas.

A simbiose entre os chamados processos cognitivos e os processos geralmente designados por “emocionais” torna-se evidente”.(Damasio, A. R., 1994, pag 210, tradução nossa).

Devido aos resultados encontrados por Damasio e seus colaboradores, o processo de tomada de decisão pode ser entendido a partir de uma cadeia de eventos que são paralelos, mas que interagem entre si e que pode ser resumido pela figura abaixo:

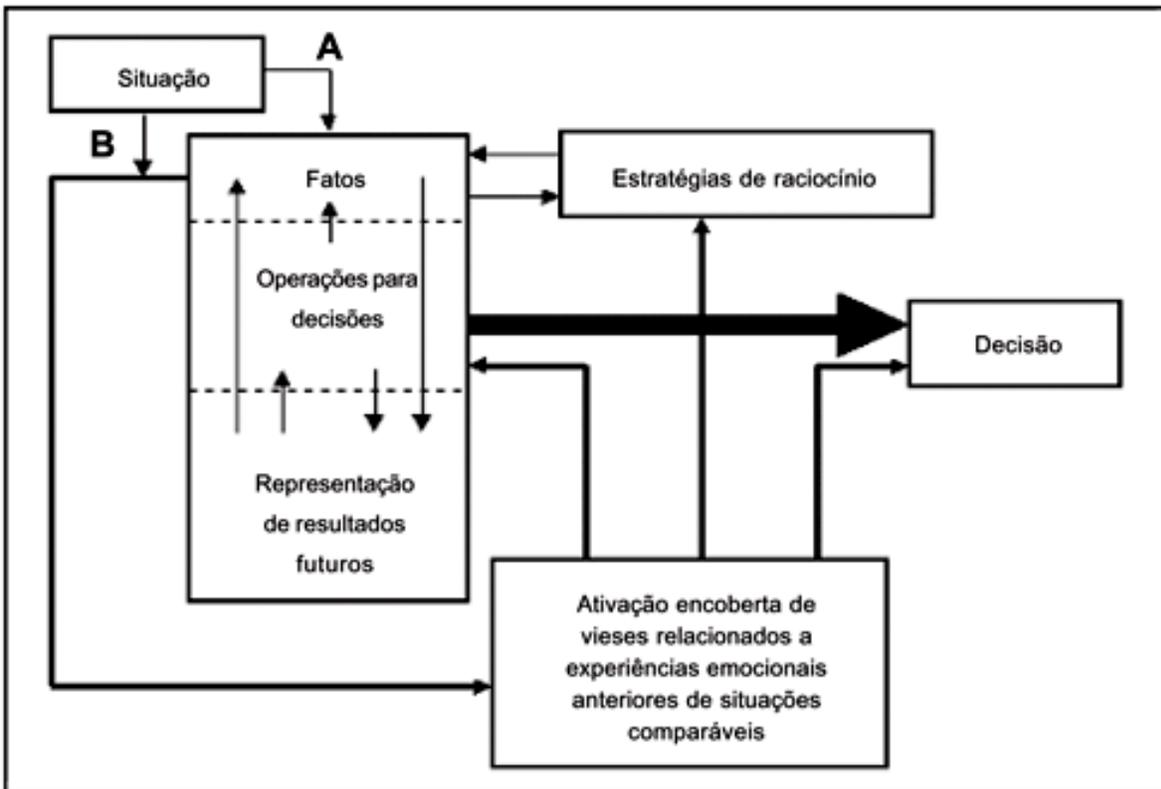


Fig.5 - Diagrama com os passos envolvidos no processo de tomada de decisão.(Bechara, Damasio *et al.*, 1997).

Na rota "A", estão envolvidas as estratégias de raciocínio, nas quais o sujeito deve ponderar suas ações e antecipar resultados futuros. A rota "B" envolve a recordação de material emocionalmente associado, seja consciente ou não, que atuando em paralelo induz à ativação de experiências emocionais vividas anteriormente em situações semelhantes, influenciando o processo de tomada de decisão ao focar a atenção na representação de resultados futuros ou interferindo nas estratégias de raciocínio, evidenciando a integração entre os processos cognitivos e os emocionais.

4.3.3 - O teste empírico: o Iowa Gambling Task

O suporte empírico para a hipótese do marcador somático vem de um paradigma experimental conhecido por *Iowa Gambling Task* (IGT) (Bechara et al., 1994, 1996), desenhado para medir o processo de tomada de decisão. Resultados de inúmeros estudos realizados posteriormente validam a utilização do IGT como um instrumento que permite o acesso aos processos de tomada de decisão. Além disso, foram desenhados outros testes que envolvem situações de aposta e risco corroborando assim a noção de que tarefas desta natureza podem ter um mecanismo comum de tomada de decisão, ligado à região ventromedial do córtex pré-frontal (Monterosso, Ehrman *et al.*, 2001; Bar-On, Tranel *et al.*, 2003; 2004; Fukui, Murai *et al.*, 2005; Fukui, Murai *et al.*, 2006; Monterosso, Ainslie *et al.*, 2007; Roussos, Giakoumaki *et al.*, 2008).

O IGT consiste em um jogo no qual os sujeitos recebem uma quantia fictícia de dinheiro (US\$2000) e cujo objetivo é maximizar o lucro sobre esse empréstimo. Para isso, o jogador tem a sua disposição cartas de baralhos dispostas em quatro decks (A, B, C e D). O sujeito deve escolher as cartas, uma de cada vez, em qualquer um dos decks, até que o jogo chegue ao final (após 100 escolhas, no entanto, ele não sabe a quantidade de escolhas que poderá ser feita). O jogador pode mudar de um deck para outro a qualquer momento e quantas vezes desejar.

Ocorre que a decisão tomada pelo sujeito é largamente influenciada por um modelo de recompensa imediata e punição futura. Isso porque após virar uma carta, o jogador recebe de imediato uma quantia em dinheiro, que varia de acordo com o deck escolhido. Entretanto, ao mesmo tempo em que recebe este valor, ele deve pagar uma penalidade, que também é anunciada imediatamente após a escolha e varia de acordo com o deck. Os decks A e B geram alto ganho imediato, mas ao mesmo tempo trazem alta perda futura, ou seja, são decks desvantajosos, pois trazem uma expressiva perda em longo prazo. Já as cartas provenientes dos decks C e D levam a ganhos baixos, porém, estão associadas a perdas futuras menores, sendo, então, os decks vantajosos para o jogador; pois, ainda que tragam um menor rendimento do ganho imediato, por

trazerem uma menor perda futura, eles propiciam um ganho a longo prazo. Ao final, o sujeito terá um saldo positivo se escolher mais cartas pertencentes a esses decks, ao passo que este saldo se torna negativo caso ele escolha uma quantidade maior de cartas presentes nos decks A e B.

Entretanto, estas regras são conhecidas apenas pelo pesquisador e nunca são reveladas para o jogador. Ele, então, não é capaz de prever, de início, o que irá acontecer. Como não sabe que o jogo irá terminar ao fim de 100 jogadas, não é capaz de saber o valor de ganhos e perdas enquanto joga. Nas palavras de Damasio:

“Tal como na vida, em que uma grande parte do conhecimento com que construímos nosso futuro vai se tornando acessível pouco a pouco, à medida que a experiência decorre, reina a incerteza. Nosso conhecimento — e o do jogador — é moldado tanto pelo mundo com que interagimos, como por predisposições do nosso próprio organismo, por exemplo, nossa preferência natural por ganhos em vez de perdas, por recompensa em vez de castigo, por um risco baixo em vez de um risco alto”. (Damasio, A. R., 1994, pag 237, tradução nossa).

Os pesquisadores investigaram pessoas normais e pacientes com lesão bilateral do CPVM e um grupo de pacientes com lesão bilateral na amígdala. Pois, como dito anteriormente, pacientes com estes tipos de lesões cerebrais, que, antes delas, possuíam uma personalidade normal, tendem a apresentar conduta social desajustada, além de graves problemas na tomada de decisões e na execução de ações. Tais mudanças comportamentais comumente os levam repetidamente a fazer escolhas de vida desvantajosas, resultando, por exemplo, em perda de emprego ou contração de dívidas elevadas, trazendo, então, sérias conseqüências psicossociais negativas.

Os resultados revelaram que as pessoas não lesionadas iniciam o jogo escolhendo cartas dos quatro baralhos, na tentativa de encontrar alguma pista ou padrão que auxilie em suas escolhas. Atraídas pelos altos ganhos imediatos, de início, o jogador apresenta uma preferência pelos decks A e B. Entretanto, com o decorrer do

jogo (geralmente dentro das trinta primeiras jogadas), eles passam a escolher as cartas dos decks C e D e tendem, na grande maioria, a manter tal estratégia até o final do jogo. Ainda que, algumas vezes, o jogador possa voltar à escolha das cartas dos decks A e B, ele logo retoma a ação mais prudente, voltando a selecionar os decks C e D. Assim, os resultados do desempenho de sujeitos normais no IGT, mostram que eles evitam escolher os decks desvantajosos (A e B) e dão preferência aos decks vantajosos (C e D). Para Damasio,

“Não há maneira de os jogadores fazerem um cálculo preciso dos ganhos e das perdas. Em vez disso, pouco a pouco, vão-se apercebendo de que alguns baralhos — o A e o B — são mais “perigosos” do que os outros. Poder-se-ia dizer que intuem que as penalizações menores nos baralhos C e D lhes permitem maiores vantagens a longo prazo, apesar do menor ganho inicial. Suspeito que existe, antes do palpite consciente, um processo não consciente que gradualmente vai formulando uma “previsão” do resultado das jogadas e vai “empurrando” o jogador, de início discretamente, mas depois de forma cada vez mais acentuada, para os bons baralhos, dizendo-lhe sem dizer que o castigo ou a recompensa está prestes a vir se uma determinada jogada for, de fato, efetuada” (Damasio, A. R., 1994, pag 239, tradução nossa).

Já o desempenho no IGT dos pacientes com lesões cerebrais foi diametralmente oposto ao dos sujeitos normais. Eles, sistematicamente, escolhiam mais cartas dos decks A e B e, cada vez menos, as cartas dos decks C e D. Assim, ainda que obtivessem um ganho maior, acumulavam perdas cada vez mais altas e, constantemente, perdiam todo o empréstimo inicial no meio do jogo, precisando contrair dívidas junto ao pesquisador para dar sequência ao teste. Desta forma, reproduziam o comportamento que, frequentemente, exibiam na vida real após sofrerem a lesão cerebral. Estes resultados revelam que pacientes com este tipo de lesão apresentam, no IGT, um desempenho comparável à sua incapacidade para decidir de maneira vantajosa em situações reais (Bechara, A., Damasio, H. *et al.*, 1999).

4.3.4 - Elaborando uma explicação

O desafio agora é explicar o que leva os pacientes com este particular tipo de lesão frontal a apresentar um comportamento desvantajoso e, ao mesmo tempo, desvendar os mecanismos neurofisiológicos subjacentes a ele. Isso porque pacientes com grandes lesões em outras regiões do cérebro apresentam no IGT um desempenho semelhante ao dos sujeitos normais, desde que sejam capazes de ver e compreender as instruções.

A abordagem utilizada por Damasio faz uso de sua hipótese dos marcadores somáticos. Segundo ele,

“Mesmo que as imagens de consequências futuras sejam estáveis, as lesões nos córtices pré-frontais ventromediais impossibilitariam a evocação de informações pertinentes sobre o estado somático e, conseqüentemente, os cenários futuros relevantes deixariam de ser marcados. Sua importância não seria notada e seu impacto sobre o processo de decisão seria facilmente superado pela importância de perspectivas imediatas. O que se perderia dessa forma seria um mecanismo capaz de gerar previsões automáticas sobre a importância de um resultado futuro”. (Damasio, A. R., 1994, pag 318, tradução nossa).

A idéia é que sujeitos normais adquiriram a compreensão da importância de suas escolhas pela exposição repetida a um modelo de recompensa e punição em relação a um determinado deck. Ou seja, houve em seus cérebros a associação entre cada deck e certo grau de “negatividade” ou “positividade”, que os levava, inconscientemente, a avaliar a frequência e a quantidade de estados negativos, de modo que “a expressão neural desse meio oculto e não consciente de raciocinar seria o estado somático de predisposição” (Damasio, A. R., 1994).

Assim, a ativação dos marcadores somáticos é determinante para a tomada de decisão vantajosa em cenários de incerteza, pois leva o sujeito a conservar e otimizar

sua memória de trabalho e a atenção no que se refere a cenários futuros. E, segundo este modelo, seria exatamente este mecanismo de geração de marcadores somáticos que estaria prejudicado nos pacientes com as lesões frontais no cérebro, levando-os assim a tomar decisões desvantajosas.

Damasio e colaboradores propuseram-se, então, a investigar essa hipótese repetindo o IGT com os mesmos tipos de sujeitos, contudo agora coletando suas respostas de condutância da pele durante a realização do jogo. O primeiro conjunto de resultados mostrou que tanto os sujeitos normais, como os pacientes lesionados geraram respostas de condutância da pele à medida que o modelo de recompensa ou punição surgia após suas escolhas, revelando que ambos grupos eram afetados de acordo com a dinâmica do jogo, e isto era seguido de uma resposta somática evidenciada pela mudança na condutância da pele.

Entretanto, os jogadores normais, após certo número de escolhas, apresentaram um padrão de resposta psicofisiológica curioso. Quando os sujeitos deliberavam sobre sua escolha, ou seja, no momento imediatamente anterior à tomada de decisão pela carta de um deck desvantajoso (A e B), era gerada uma resposta de condutância da pele, cuja amplitude aumentava de acordo com a continuação do jogo.

Como somente o experimentador sabia previamente que estes decks eram justamente os desvantajosos, os jogadores normais começavam gradualmente a prever um mau resultado. Ou seja, havia a geração de uma resposta, de condutância da pele, antecipatória maior para os decks A e B, quando comparada àquelas geradas para os decks C e D, levando os sujeitos a decidir, inconscientemente, pelas cartas dos decks vantajosos, como pode ser visto na figura abaixo:

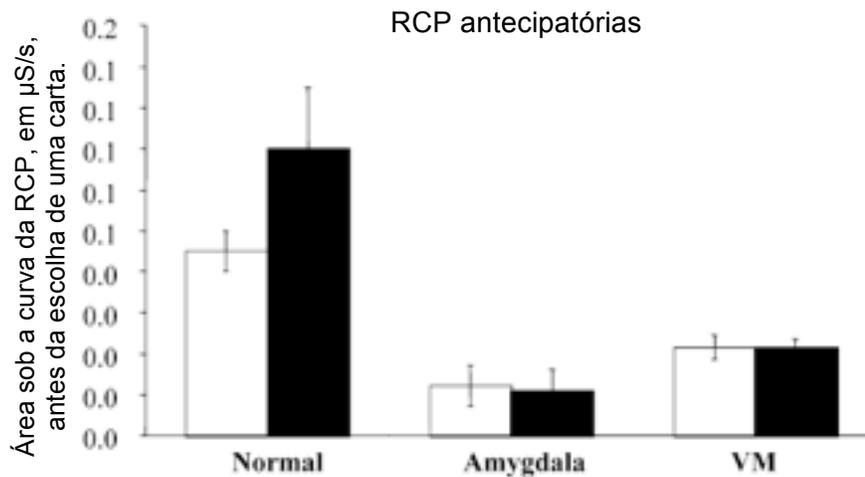


Fig.6 - Médias das RCP antecipatórias geradas pelos sujeitos normais, pacientes com lesões na amígdala e CPFVM associadas com decks vantajosos (C e D) *versus* decks desvantajosos (A e B) (Bechara, Damasio *et al.*, 2003).

De acordo com Damasio,

“O fato de os indivíduos normais não exibirem essas respostas quando o jogo começava, o fato de as respostas serem adquiridas com a experiência, com o decorrer do tempo, e o fato de sua grandeza não parar de crescer à medida que se iam somando mais experiências positivas e negativas constituíam evidência forte de que os cérebros dos indivíduos normais estavam aprendendo algo de importante sobre a situação e tentavam assinalar, de forma antecipada, o que não seria bom para o futuro”. (Damasio, A. R., 1994, pag 319, tradução nossa)

Já os pacientes com lesão no CPFVM apresentaram respostas de condutância da pele antecipatórias significativamente menores do que os sujeitos normais, e os pacientes com lesão na amígdala não apresentaram quaisquer respostas de condutância da pele antecipatórias, sendo, então, impossível que seus cérebros gerassem uma previsão para um resultado negativo no futuro. Estes resultados

evidenciam que “os sistemas neurais que lhes teriam permitido aprender o que deveriam evitar ou preferir funcionam mal e não conseguem desenvolver respostas adequadas a uma nova situação.” (Damasio, A. R., 1994, pag 319, tradução nossa)

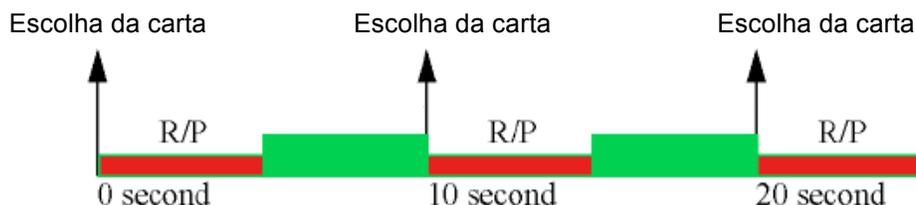


Fig.7 - O intervalo de tempo entre duas escolhas consecutivas foi subdividido em duas janelas temporais para medir as respostas da condutância da pele (RCP), medida fisiológica sob o controle do sistema nervoso autônomo, que foi utilizada como índice de ativação de marcadores somáticos. A janela temporal (5 segundos de duração) imediatamente após a escolha de uma carta foi chamada de recompensa/punição (R/P), porque as RCP geradas durante este período de tempo foram uma reação ao resultado de ganhar ou perder certa quantia de dinheiro. A janela de tempo que precede a escolha da carta seguinte foi chamada de antecipatória, ou seja, o tempo durante o qual o sujeito estava pensando qual carta iria escolher (Bechara, Tranel *et al.*, 2002)

Estes resultados, seguidos de uma série de estudos e testes posteriores, sugerem, assim, que a tomada de decisão é um processo guiado pelas emoções, uma vez que os marcadores somáticos são induzidos por elas e que estas duas regiões do cérebro, ligadas ao processamento das emoções - a amígdala e o CPFVM - dão suporte às decisões racionais.

Em resumo, a medição de RCP é usada como evidência para a existência dos marcadores somáticos, quando esta hipótese é testada empiricamente. Logo, de acordo com o modelo teórico aqui exposto, “pode-se afirmar que as emoções, em particular as manifestações viscerais das emoções, são componentes críticos do processo de tomada de decisão sob condições de risco e incerteza.” (Damasio, 1994; Bechara, 2001).

A opção pelo uso deste modelo torna-se, então, óbvia para nosso trabalho, pois fornece um arcabouço teórico que permite entender a relação entre emoção e cognição, além de estabelecer uma metodologia capaz de nos permitir investigar

possíveis respostas emocionais que podem ser geradas a partir do contato do sujeito com o conhecimento científico. Como as emoções não são evocadas apenas por objetos e eventos, medir as respostas de condutância da pele nos permite acessar processos mentais que são influenciados pela emoção, constituindo o mais importante instrumento de nossa pesquisa.

4.4 - O que foi medido e como medimos

De acordo com a escala de tempo utilizada para coletar o estado somático e dependendo da relação causal que um determinado estímulo tem com a indução desta resposta fisiológica, as medidas de condutância da pele são divididas em tônica e fásica (Venables e Christie, 1980; Christie, 1981; Boucsein, 1992).

A primeira, tônica, é usada para investigar a relação entre respostas do sistema autonômico e estados emocionais que demoram a ser gerados no sujeito após a exposição a um determinado estímulo. O tempo de coleta envolvido neste tipo de medida varia entre dezenas de segundos a alguns minutos. Ela é usada em estudos que investigam a relação entre o sistema nervoso autônomo e estresse (Lown e Desilva, 1978; Jacobs, Friedman *et al.*, 1994; Hoehn, Braune *et al.*, 1997; Hagemann, Waldstein *et al.*, 2003), além de estados de excitação e estados motivacionais após à exposição de imagens com conteúdo emocional (Stemmler, 1989; Laan, Everaerd *et al.*, 1994; Christie e Friedman, 2004).

Já as medidas fásicas são utilizadas para investigar respostas emocionais que surgem mais rapidamente após a apresentação de um estímulo, com janela temporal variante de um a dez segundos. As medidas fásicas de condutância da pele têm sido utilizadas para investigar os processos cognitivos que precedem ou antecipam o planejamento de uma escolha (Critchley, 2002; Crone, Somsen *et al.*, 2004; Nagai, Critchley *et al.*, 2004). Por serem registradas num período de tempo relativamente curto, estas medidas são largamente usadas no estudo do processo de tomada de

decisão (Bechara, Damasio *et al.*, 1994; Bechara, Damasio *et al.*, 1997; Bechara, A, Damasio, H *et al.*, 1999; Bechara, Damasio *et al.*, 2005).

Existe uma série de parâmetros que podem ser considerados ao se determinar a relação temporal entre a exibição de um estímulo e o estado somático gerado, como a latência da resposta, a atenuação e deterioração do sinal etc. Contudo, foge do escopo desta tese aprofundarmos neste tema. Sugerimos a leitura de Boucsein (1992) para maiores detalhes.

Assim, durante toda a realização do teste, as respostas de condutância da pele foram coletadas por meio de dois eletrodos colocados nas áreas tenar e hipotenar da palma da mão não-dominante do sujeito. Esta variável psicofisiológica foi coletada por um aparelho MP-150, fornecido pela Biopac Systems, Inc.

Os sinais coletados foram simultaneamente transferidos para um computador Macintosh através de um sistema MP150WS (Biopac Systems, Inc.), que é um conversor analógico para o sistema digital. Os dados coletados foram, então, armazenados e acessados posteriormente para as análises por meio de um programa escrito em Matlab.

4.5 - Objetivos e questões

O objetivo deste trabalho é investigar, a partir dos arcabouços teóricos e metodológicos das Neurociências, as relações estabelecidas entre as emoções e o conhecimento científico. Em particular, a tese que defendemos é que o julgamento sobre a validade de uma representação de mundo se dá para além de critérios fundamentados em uma racionalidade lógica. Existiria um lastro emocional que estabiliza as representações de mundo. Dessa tese podem ser levantadas quatro hipóteses.

Ao serem convidados a avaliar a qualidade de representações e/ou explicações dadas a situações e/ou fenômenos pertinentes ao estudo da Física:

Hipótese 1 - Indivíduos com sólida educação formal em Física (*Experts*) apresentarão maior magnitude da RCP quando depararem com representações cientificamente corretas, comparadas à magnitude da RCP quando estes depararem com concepções intuitivas.

Hipótese 2 - Indivíduos sem uma sólida educação formal em Física (*Novatos*) apresentarão maior magnitude da RCP quando depararem com concepções intuitivas, comparadas à magnitude da RCP quando estes depararem com representações cientificamente corretas.

Hipótese 3 - Esperamos que um aumento da magnitude da RCP irá encorajar a rejeição da escolha de concepções intuitivas e irá endossar a escolha das representações cientificamente corretas para indivíduos com sólida educação formal em Física (*Experts*).

Hipótese 4 - Esperamos que um aumento da magnitude da RCP irá encorajar a rejeição da escolha de representações cientificamente corretas e irá endossar a escolha das concepções intuitivas para indivíduos sem uma sólida educação formal em Física (*Novatos*).

4.6 - Uma particularidade nas RCP relacionadas ao desenho experimental proposto

Como exposto nas seções anteriores, adaptamos o IGT com o objetivo de investigar as respostas emocionais relacionadas ao processo de tomada de decisão. Contudo, é preciso ressaltar uma diferença fundamental em nosso experimento. O IGT é baseado em recompensa e punição, visto que perdas e ganhos são a essência deste teste. Ainda que não seja possível inferir valência da resposta emocional com medidas de condutância da pele, no modelo proposto por Damasio é esperado que RCP mais intensas estejam ligadas a respostas emocionais “aversivas”. Ou seja, as maiores RCP eram geradas antes da escolha mais arriscada e, por isto, mais perigosa para o sujeito levando-o a evitar a escolha dos decks desvantajosos.

Ainda que metodologicamente semelhante, nosso experimento difere do IGT em sua essência. Como não é baseado num sistema de recompensa e punição, julgamos que as reações psicofisiológicas geradas em nosso teste podem estar associadas a respostas emocionais “prazerosas”. Esta hipótese, que relaciona uma maior RCP a estímulo positivo ou agradável tem suporte na literatura, sendo usada por diversos pesquisadores para investigar respostas emocionais geradas por diferentes expressões faciais, diferentes tipos de música e até mesmo fruição artística (Cacioppo, Berntson *et al.*, 1993; Lang, Greenwald *et al.*, 1993; Ramachandran e Hirstein, 1999; Codispoti, Bradley *et al.*, 2001; Winkielman e Cacioppo, 2001; Khalfa, Isabelle *et al.*, 2002; Baumgartner, Esslen *et al.*, 2006; Grewe, Nagel *et al.*, 2007).

Logo, a análise de variáveis psicofisiológicas como frequência cardíaca, condutância da pele ou alterações na taxa de respiração revelam, na verdade, mudanças no estado emocional do sujeito. A valência destes estados emocionais gerados pode ser consideravelmente bem inferida pelo tipo de estímulo apresentado ao sujeito. Em outras palavras, é bastante plausível que um aumento na RCP de um indivíduo ao ver a foto de um familiar, um rosto sorridente ou uma obra de arte esteja relacionado a uma emoção positiva e, portanto, prazerosa. O que investigaremos aqui é se uma representação científica do mundo, ou uma concepção intuitiva, é capaz ou não de gerar um estado emocional semelhante.

4.7 - O Experimento

4.7.1 - Os Sujeitos: Experts e Novatos

Como estamos interessados em entender possíveis relações emocionais com o conhecimento científico, optamos por investigar dois grupos distintos de sujeitos: Experts em Física e Novatos, visto que pesquisas em Ensino de Ciências apontam que as relações estabelecidas com o conhecimento científico ocorrem de maneira distinta entre tais grupos (Chi, Feltovich *et al.*, 1980; Larkin,

Mcdermott *et al.*, 1980; Chi, Feltovich *et al.*, 1981; Gentner e Stevens, 1983; Larkin, 1983).

No primeiro grupo, estão os indivíduos com sólido conhecimento formalizado em Física e, no segundo grupo, estão presentes indivíduos que possuem conhecimento mínimo dos conteúdos, guardando, assim, forte relação com concepções espontâneas.

Para classificarmos os participantes dentro dessas duas categorias, consideramos Experts alunos de pós-graduação em Física ou Engenharia, visto que tais cursos trabalham fortemente o ensino dos conteúdos de Física abordados neste experimento; e alunos que estejam cursando outros cursos, que não se encontram diretamente correlacionados com esses dois anteriores, foram considerados novatos.

Participaram deste teste 38 estudantes, distribuídos dentro de uma mesma faixa etária, todos alunos de pós-graduação da *University of Southern California*, em Los Angeles, local onde o experimento foi realizado. O grupo de Experts consistiu de 12 alunos de doutorado em Física e 7 doutorandos em Engenharia. Dos Novatos, fizeram parte alunos de mestrado e doutorado das mais diversas áreas, como Arte, Biologia, História, Economia e Contabilidade. Todos os participantes foram recrutados por meio de “*flyers*”¹⁰ espalhados pelo *campus*, cada um recebeu U\$10 por hora e ficava entre uma hora, uma hora e meia, para realizar todo o experimento.

4.7.2 - Procedimentos

O Teste - Os sujeitos sentaram-se confortavelmente em uma poltrona e viram na tela de um computador 40 questões, divididas igualmente em 2 grupos: questões de Física e de controle. Cada questão possui 4 alternativas de resposta (uma cientificamente correta e três concepções intuitivas) que foram apresentadas de

¹⁰ Vide Anexos pag 175.

maneira aleatória aos sujeitos. Com isso, não era possível prever quando seriam expostos à questão controle ou à de Física.

Inicialmente, o sujeito olhava durante 5 minutos para a tela do computador, que exibia em um fundo cinza, apenas uma cruz em seu centro. Durante este tempo, coletamos o padrão psicofisiológico basal do sujeito. Aparecia, então, uma mensagem indicando que o experimento iria começar. Após 7 segundos, surgia na tela uma das questões, que poderia ser de Física ou controle. Essa permanecia ali até o momento no qual o sujeito decidia que tinha entendido o que fora pedido. Neste instante, ao apertar o botão de um mouse, apareciam as quatro alternativas de resposta à pergunta feita. Cada uma delas, marcadas de A a D, ficavam na tela por 7 ± 3 segundos, mudando automaticamente.

Os sujeitos foram previamente instruídos a não fazer nada durante esta etapa, a não ser imaginar a situação que estava sendo apresentada em cada alternativa, sem julgar se ela era certa ou errada. Após esta fase do teste, as quatro possíveis respostas apareciam simultaneamente na tela, como mostra a figura abaixo.

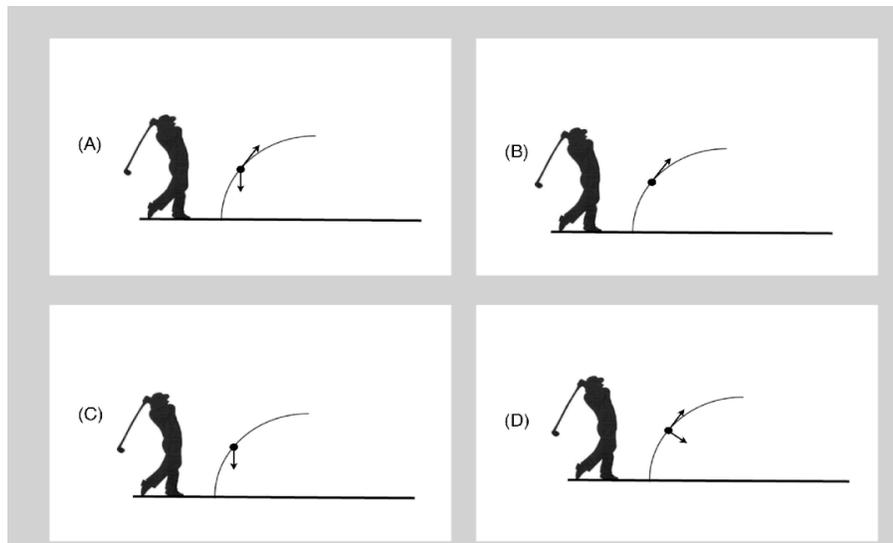


Fig.8 - Reprodução da tela vista pelos sujeitos no momento de escolherem a resposta a pergunta feita no teste.

Elas permaneciam ali até o momento no qual o sujeito, guiando o cursor do mouse sobre a alternativa de sua escolha, decidia qual era a correta, não havendo, portanto, um tempo pré-estabelecido nesta fase.

A tela então exibia a imagem cinza inicial por 9 segundos e o teste recomeçava com uma nova pergunta, até que todas as 40 questões fossem exibidas. Para a realização deste teste foi escrito um programa em Matlab que nos permitiu o controle de todas as etapas desse experimento.

4.7.3 - As questões

Como exposto acima, o teste contém 40 questões, divididas igualmente em questões de Física e de controle, apresentadas de maneira aleatória. As questões controle são sobre Matemática básica e foram escolhidas por requisitarem, no momento de suas repostas, processos cognitivos similares à realização de um teste de Física, como inferências lógicas, predições e interpretação de linguagem simbólica, contudo, sem trazer à tona a mesma carga de conhecimento intuitivo relacionada com as questões de Física presentes em nosso experimento. Assim, a análise do padrão psicofisiológico que surge durante as respostas às questões controle nos permite comparar se tais respostas emocionais estão correlacionadas ou não com a presença das concepções intuitivas nas questões de Física.

As questões de Física presentes neste experimento foram retiradas de trabalhos da área de Ensino de Ciências e têm sido utilizadas ao longo dos últimos 20 anos para identificar concepções espontâneas em Física. A pertinência teórica deste tipo de teste vem sendo discutida e largamente utilizada em pesquisas em Educação, por mais de 30 anos, pelos mais diferentes pesquisadores em Educação Científica; sendo, portanto, um instrumento validado e totalmente adequado para a investigação que faremos neste estudo.

As questões de Física e de Matemática às quais nos referimos, com suas respectivas alternativas de respostas, encontram-se integralmente registradas na seção “Anexos” desta tese. Contudo, detalharemos um pouco mais a essência destas questões na seção abaixo.

4.7.3.a - As questões controle

As questões controle são sobre Matemática básica e foram retiradas do “*California High School Exit Examination*”, de 2009 (Education, 2009), criadas pelo departamento de Educação do Estado da Califórnia, nos Estados Unidos. A escolha deste teste se deu porque queríamos estar em sintonia com o contexto no qual nossa pesquisa se inseria. Como foram desenvolvidas para avaliar o desempenho em matemática dos estudantes que ingressam nas universidades americanas, sabemos que o conteúdo ali apresentado estava de acordo com os exames prestados pelos alunos ao ingressarem nestas universidades, sejam eles nativos ou estrangeiros.

4.7.3.b - As questões de Física

As questões de Física foram retiradas de um conjunto de trabalhos de pesquisa em Ensino de Física. Foram eles: *Force Concept Inventory* (Hestenes, Wells *et al.*, 1992), *Mechanics Baseline Test* (Hestenes e Wells, 1992) , *Peer instruction: A user's manual* (Mazur e Somers, 1999) e um teste presente em Peduzzi (1985).

Originalmente, cada questão continha 5 alternativas de resposta. Como havia a necessidade de adequar o tempo de realização do teste ao tipo de experimento que desenhamos, foi necessária a retirada de uma das alternativas. Para isso, entramos em contato com um pesquisador em Ensino de Física da Universidade de Harvard, Nathaniel Lasry, que pesquisa o uso de testes como os que foram utilizados em nosso experimento (Lasry e Aulls, 2007; Lasry, 2008; Lasry, Mazur *et al.*, 2008; Lasry, Finkelstein *et al.*, 2009). Como ele acompanha durante anos o padrão de evolução da resposta dos alunos antes e depois dos cursos de Física, foi possível nos indicar, por meio da análise de um extenso banco de dados, as alternativas que, ao longo dos anos, parecem ser as menos relevantes do ponto de vista dos alunos, visto que aparecem pouquíssimas vezes como parte de suas escolhas.

O pesquisador ao qual nos referimos ainda nos auxiliou na escolha das alternativas que deveriam ser excluídas em questões que não possuíamos uma pesquisa prévia, devido à semelhança com questões que ele já havia pesquisado.

4.8 - O método de coleta e análise

Apresentaremos agora como foi realizada a coleta dos dados, quais dados foram analisados e como esta análise foi feita. A análise dos dados, bem como nossa interpretação dos mesmos serão discutidos no capítulo seguinte.

O método que utilizamos foi uma adaptação daquele criado por Bechara para testar a hipótese dos marcadores somáticos (Bechara, Damasio *et al.*, 1997; Bechara, Tranel *et al.*, 2002; Bechara, Damasio *et al.*, 2005; Naqvi e Bechara, 2006b). Utilizamos como medida a área sob a curva que representa a variação na condutância da pele durante um determinado intervalo de tempo.

Esta medida é chamada de "quantidade de afeto", já que "leva em consideração tanto a amplitude da resposta, bem como seu tempo de decaimento, podendo, assim, ter mais eficácia do que qualquer um destes parâmetros isoladamente" (Boucsein, 1992 Naqvi e Bechara, 2006, pag 111, tradução nossa).

Inicialmente, para obtermos a curva, o sinal bruto da RCP foi passado por filtro passa-baixa de 5 Hz para remover o ruído de alta frequência. A área sob a curva foi, então, medida em função de um intervalo que é especificado a partir de um marcador (sinal sonoro) que surge cada vez que um estímulo aparece na tela do computador, como uma questão, uma alternativa e a cada escolha do sujeito.

A área sob a curva é medida como a área delimitada pela curva e a corda que liga a interseção desta curva com as extremidades do intervalo de medição. Esta área é dividida pela duração do intervalo de tempo, em segundos, resultando em unidades de $\mu\text{S}/\text{seg}$. A figura abaixo ilustra o procedimento aqui utilizado.

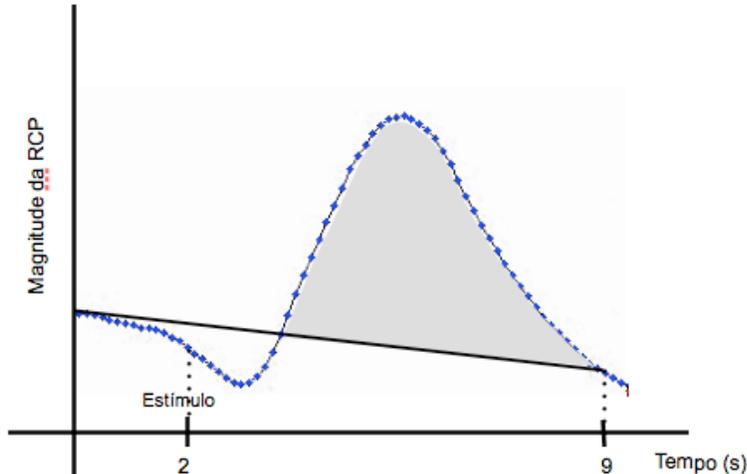


Fig.9 - Ilustração do método usado para calcular a área sob a curva, delimitada pelo sinal da RCP e a corda que une o intervalo utilizado para efetuar a medida.

Seguindo o método usado por Bechara, tomamos como intervalo de medição o sinal gerado nas fases pré e pós apresentação dos estímulos. A idéia é poder “investigar tanto os processos cognitivos que conduzem à escolha de um comportamento como os processos cognitivos envolvidos na avaliação das consequências desse comportamento, uma vez que foi executado” (Naqvi e Bechara, 2006b, pag 105, tradução nossa). Ou seja, como os marcadores somáticos e suas representações mentais desempenham um papel essencial no processo de tomada de decisão, ao coletarmos a resposta psicofisiológica que precede a apresentação do estímulo, é possível investigar se este estado somático pode ajudar a guiar a escolha do sujeito.

Como dito anteriormente, é preciso ressaltar que o conceito de marcador somático antecipatório foi concebido e testado em experimentos baseados em modelos de recompensa e punição, como o IGT. Entretanto, investigamos se nosso experimento poderia ser capaz de gerar o mesmo tipo de estado somático, ainda que neste caso tal resposta psicofisiológica estivesse sendo gerada por um estímulo positivo. Como propusemos em nossas hipóteses, investigamos, então, a RCP gerada nos sujeitos ao contemplarem diferentes representações de mundo e se ela pode estar ligada à rejeição ou adesão a um tipo de conhecimento.

4.9 - O que foi coletado e analisado

Coletamos e analisamos as medidas somáticas das respostas emocionais geradas nos sujeitos em três diferentes situações. A primeira delas visou coletar a RCP durante a contemplação das alternativas de respostas a uma questão apresentada. Chamaremos esta condição de análise de “**Conhecendo**”.

A segunda delas teve como objetivo coletar a RCP durante o momento em que os sujeitos respondiam à pergunta, escolhendo uma das alternativas de resposta. Chamamos esta condição de “**Respondendo**”.

Finalmente, a terceira situação visou coletar a RCP dos sujeitos durante a contemplação das alternativas de respostas que serão por eles escolhidas como resposta final. Ou seja, é a situação em que o pesquisador, sabendo a posteriori qual resposta foi escolhida pelo sujeito, volta no tempo e analisa qual a RCP gerada pela mesma no momento em que ela foi contemplada. A esta condição demos o nome de “**Re-conhecendo**”.

Para as condições “**Conhecendo**” e “**Re-conhecendo**” utilizamos uma janela temporal de sete segundos em torno do momento no qual cada alternativa aparecia na tela, sendo a coleta iniciada a partir de um segundo anterior a este instante. Já para a condição “**Respondendo**” utilizamos uma janela de nove segundos, com a coleta do sinal iniciando um segundo antes do instante da escolha.

Com um programa escrito em Matlab foi possível criar um “gatilho”, um marcador sonoro para cada uma destas situações, de modo que foi possível separar no tempo os diferentes momentos da realização do experimento. Com isso, conseguimos coletar as respostas psicofisiológicas geradas durante todo o teste. De maneira sintética, as condições analisadas foram:

- 1) Condição **Conhecendo**: respostas emocionais do sujeito nos momentos nos quais ele toma contato com todas as quatro alternativas de resposta para a pergunta;

- 2) Condição **Respondendo**: resposta emocional do sujeito no momento no qual ele responde à pergunta;
- 3) Condição **Re-conhecendo**: resposta emocional medida no sujeito durante a condição **Conhecendo**, limitada apenas à alternativa utilizada por ele para responder a pergunta.

Ressaltamos apenas que a escolha dos termos **Conhecendo** e **Re-conhecendo** está relacionada com a visão epistemológica que temos sobre o uso de uma representação de mundo. Ao “conhecer” queremos dizer que este é o momento no qual um sujeito trava um primeiro contato com um modelo que pode estar ou não presente em sua estrutura mental. De modo que a situação **Conhecendo** diz respeito justamente a esta “primeira impressão” do sujeito frente às possíveis alternativas de resposta.

Já o termo “re-conhecer” seria ligado ao ato de “conhecer novamente”; indicando, em nossa concepção, que seria o momento no qual uma específica representação contemplada pelo sujeito no momento **Conhecendo** seria reconhecida por ele como algo que lhe faz sentido e, portanto, sendo eleita como aquela mais adequada pra representar seu mundo.

Capítulo V – Análise dos Dados

Engineering: where the noble, semi-skilled laborers execute the vision of those who think and dream. Hello, Oompa Loompas of science!

Sheldon Cooper

5.1 - Análise e discussão parcial

Neste capítulo, apresentaremos as análises estatísticas dos dados obtidos em nosso experimento, seguida de uma discussão parcial, item por item. O objetivo é fazer com que o leitor possa associar os resultados encontrados às interpretações que propomos. A integração destas interpretações será, então, apresentada numa discussão geral, ao final do capítulo.

5.2 - A performance dos sujeitos no teste

Na tabela abaixo, apresentamos a performance dos sujeitos na realização do experimento. Lembramos que o teste continha 40 perguntas, divididas igualmente em dois grupos de questões: Física e Controle (Matemática). Os resultados do teste estão dispostos a seguir.

Para os **Experts**

- A pontuação média foi 36,8 (acertaram 92% das questões); sendo que a média de acertos em Física foi de 17,9 (90,5%) e em Controle (Matemática) foi 18,9 (94,5%).

			ERROS	
	SUJEITO	PONTUAÇÃO	FÍSICA	CONTROLE
	S01E	37	3	0
	S02E	38	1	1
	S03E	35	4	1
	S04E	33	4	3
	S05E	39	0	1
EXPERTS	S06E	39	0	1
	S07E	38	2	0
	S08E	35	4	1
	S09E	36	4	0
	S10E	37	2	1
	S11E	33	4	3
	S12E	39	0	1
	S13E	38	1	1
	S14E	37	2	1
	S15E	36	2	2
	S16E	38	1	1
	S17E	39	1	0
	S18E	37	2	1
	S19E	38	0	2
	Média	36.9	1.9	1.1

Para os **Novatos**

- A pontuação média foi 25,7 (acertaram 64,3% das questões); sendo que a média de acertos em Física foi de 8,2 (41%) e em Controle (Matemática) foi 17,7 (88,5%).

			ERROS	
	SUJEITO	PONTUAÇÃO	FÍSICA	CONTROLE
	S01N	25	13	2
	S02N	24	16	0
	S03N	22	16	2
	S04N	26	12	2
	S05N	27	11	2
NOVATOS	S06N	26	11	3
	S07N	37	3	0
	S08N	24	11	5
	S09N	26	12	2
	S10N	26	11	3
	S11N	26	11	3
	S12N	26	12	2
	S13N	25	15	0
	S14N	26	12	2
	S15N	23	12	3
	S16N	27	10	3
	S17N	23	11	4
	S18N	25	13	2
	S19N	24	13	3
	Média	25.7	11.8	2.3

5.3 - A análise estatística e discussão parcial

1 - Para a condição **Conhecendo**

a) Análise entre os grupos **Experts** e **Novatos**

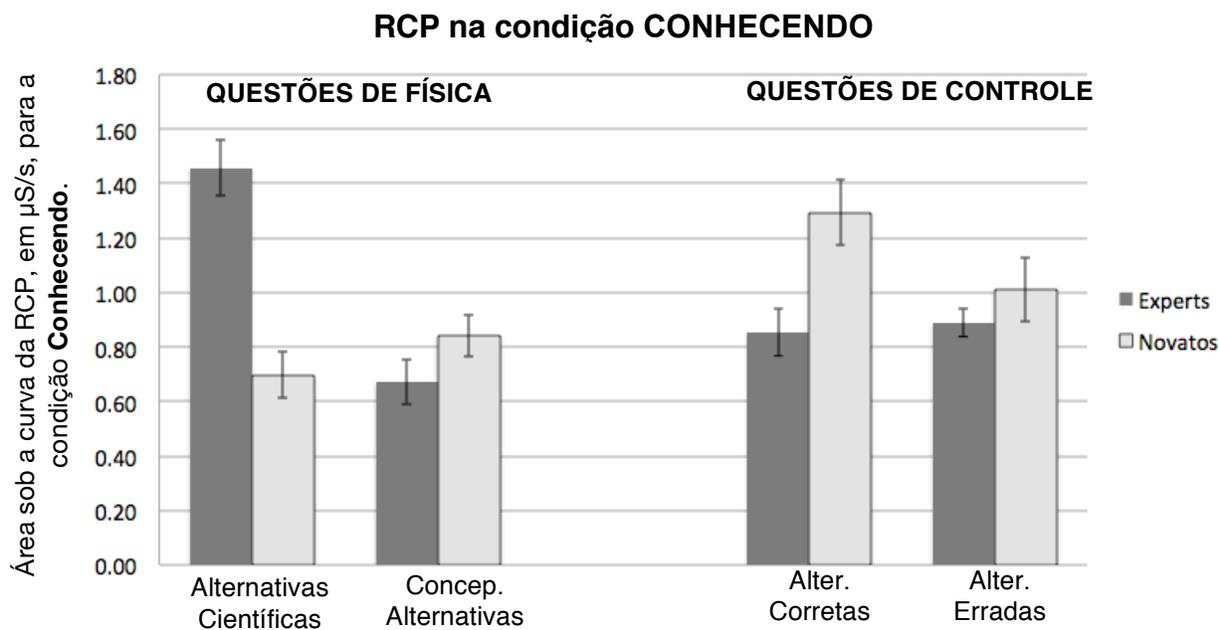


Fig. 10 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando sujeitos apenas vêm as possíveis alternativas para as questões do teste.

Foi realizada uma ANOVA¹¹ de 2 vias para medidas repetidas com os fatores Questão (Física x Controle) e Validade (Certo x Errado).

Para as questões de Física, há uma interação significativa entre estes fatores no grupo de Experts ($F_{(1,36)} = 13,24$; $P < 0,05$), revelando que neste grupo são geradas respostas emocionais mais intensas para as alternativas de resposta cientificamente correta do que para as concepções intuitivas, apenas para as questões de Física.

¹¹ A análise de variância (ANOVA) é um teste estatístico amplamente utilizado para verificar se existe alguma diferença significativa entre as médias oriundas de diferentes grupos e se os fatores considerados exercem influência em alguma variável dependente.

Da mesma maneira, a ANOVA revelou que a resposta emocional dos Experts para as alternativas científicas é significativamente maior do que aquelas geradas pelos Novatos ao contemplarem estas alternativas para as questões de Física ($F_{(1,36)} = 11,90$; $P < 0,01$). A análise desta condição para as questões de controle revelaram apenas que as respostas emocionais dos Novatos foram maiores do que a dos Experts ao contemplarem as diferentes alternativas de respostas para estas questões ($F_{(1,36)} = 9,70$; $P < 0,03$).

Houve uma interação significativa entre os grupos ($F_{(1,36)} = 25,61$; $P < 0,01$) revelando que, de maneira geral, Experts e Novatos reagem de forma emocionalmente diferente ao contemplarem as diferentes alternativas do teste.

Os resultados revelam que os grupos tiveram padrões de respostas emocionais diferentes ao contemplarem as alternativas de repostas para as questões. Para as questões de Física, os Experts apresentaram RCP maiores quando viram as alternativas cientificamente corretas em comparação àquelas geradas quando viram as concepções intuitivas. Além disso, as reações emocionais dos Experts para as alternativas de respostas (independente da *Validade*) para as questões de Física tiveram maior intensidade em relação àquelas geradas nos Novatos.

Já para as questões de Controle, os resultados revelam que não houve diferença significativa nas RCP de ambos os grupos ao comparamos as reações emocionais para as diferentes alternativas de respostas (certas X erradas). Contudo, a magnitude das RCP geradas nos Novatos foi maior do que aquela gerada nos Experts.

Para que se possam entender mais profundamente os resultados obtidos, optamos por apresentar um histograma particular contendo apenas as diferenças mais relevantes para cada fator. Isto permite a análise das respostas emocionais geradas em cada grupo separadamente, como pode ser visto a seguir.

b) Análise apenas dentro do grupo Experts

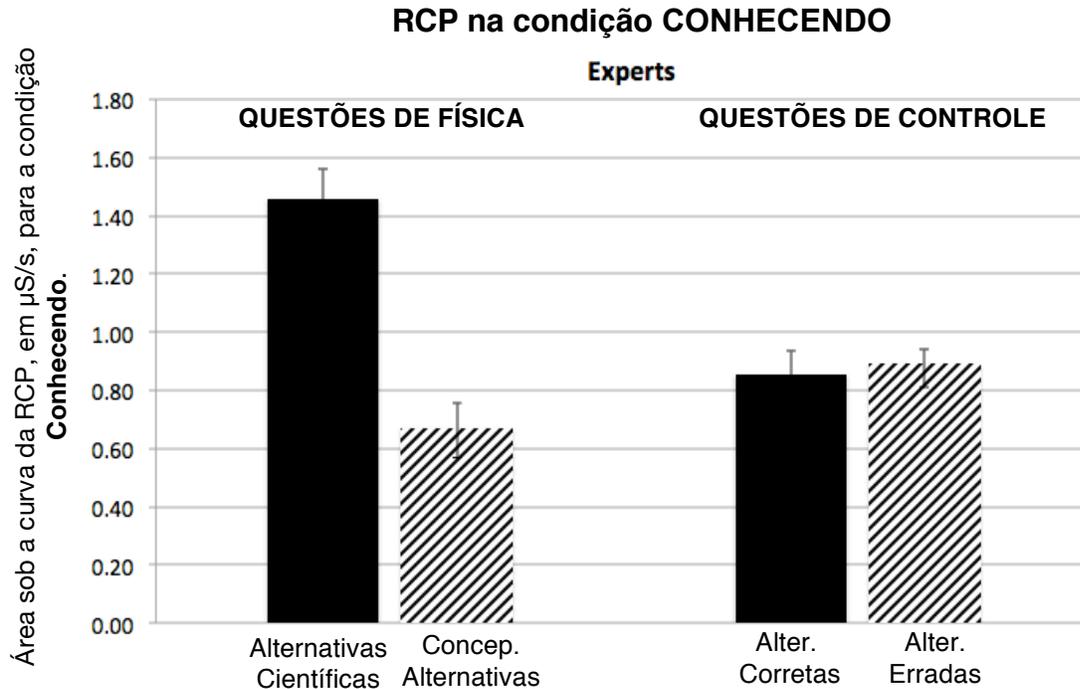


Fig. 11 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, quando sujeitos apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste.

Foi realizado um teste t^{12} para amostras dependentes na comparação das médias das RCP geradas quando os sujeitos travavam o primeiro contato com as alternativas de resposta para as questões do teste (condição **Conhecendo**). Tal comparação, feita entre as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas, para as questões de Física, mostrou-se estatisticamente significativa ($t(19)= 5,01$; EP = 0,15; $P < 0,05$ com diferença de médias de 0,78). Já entre as alternativas corretas e as alternativas erradas das questões Controle, não houve diferença significativa ($t(19)=- 0,38$; EP = 0,09; $P = 0,70$, com diferença de médias de -0,03).

¹² Após detectada uma diferença na média oriunda de dois diferentes grupos, o teste t é um teste estatístico que visa justamente comprovar se tal diferença é significativa e explicar se as diferenças entre as médias ocorrem devido a erro amostral ou não.

Estes resultados revelam que a reação emocional dos Experts, quando viram as alternativas cientificamente corretas, foi maior do que aquela gerada quando viram alternativas contendo concepções intuitivas. Esta diferença na resposta emocional dos sujeitos deste grupo apareceu apenas para as questões de Física. Ou seja, não houve uma diferença significativa na resposta emocional gerada nos Experts quando estes contemplaram as alternativas corretas e erradas para as questões de Controle (Matemática).

Tal resultado sugere que há uma correlação entre a reação emocional e o conteúdo apresentado, bem como entre os tipos de alternativas de respostas para as questões. Este resultado está de acordo com nossa hipótese da existência de um vínculo emocional com o conhecimento científico. Ainda que o desempenho cognitivo nas questões de Física tenha sido extremamente semelhante ao desempenho nas questões de Controle (90,5% para Física e 94,5% para Controle), as respostas emocionais geradas diferem totalmente.

Nesse sentido, nossos resultados sugerem que os Experts têm uma relação emocional maior com o conteúdo das questões de Física do que com o das questões de Controle. E, mais que isso, respostas emocionais mais intensas foram geradas quando estes contemplaram as alternativas cientificamente corretas, quando comparadas com as concepções intuitivas. Isso pode indicar que as representações científicas são mais emocionalmente ligadas a eles do que as concepções intuitivas.

A fim de validar tal interpretação, optamos por analisar as diferenças encontradas para esta mesma condição (**Conhecendo**), apenas dentro do grupo de Experts, contudo separando os Físicos dos Engenheiros. O histograma abaixo apresenta as RCP destes indivíduos:

Para comparar as diferenças nas respostas emocionais geradas nos Físicos e nos Engenheiros, foi realizado um teste t para amostras dependentes na comparação das médias das RCP para a condição **Conhecendo**.

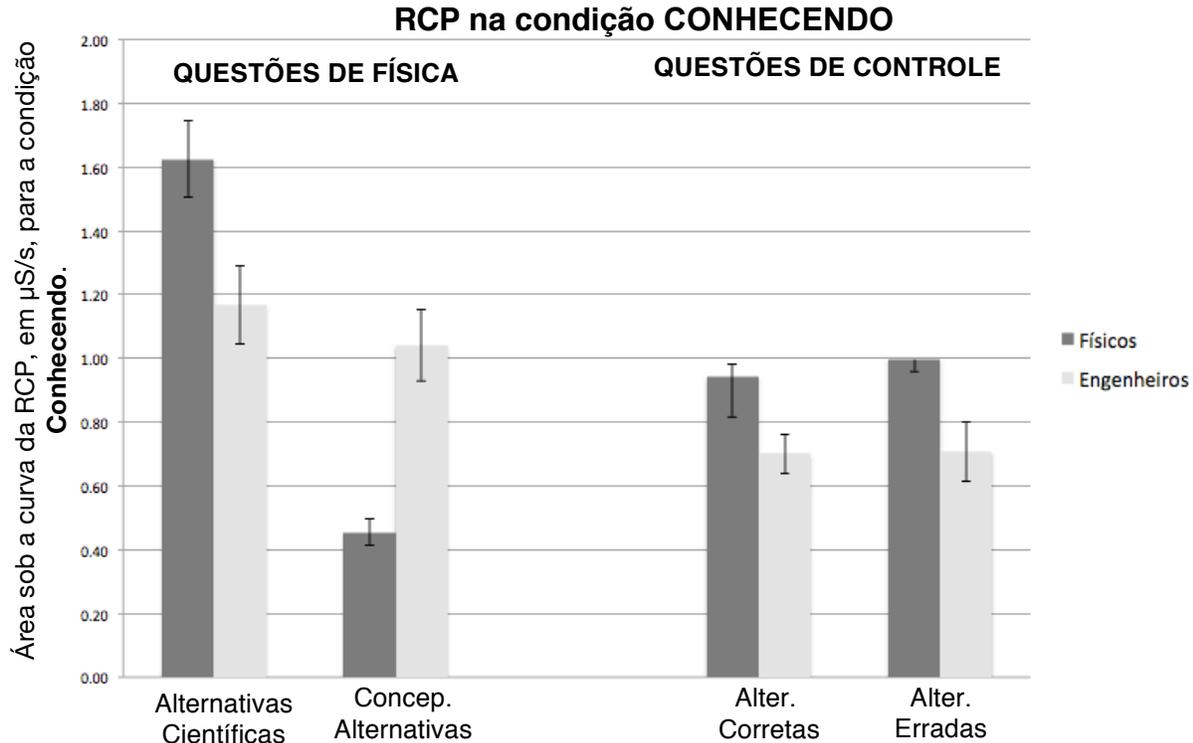


Fig. 12 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando sujeitos apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste.

Para os Físicos:

Tal comparação, feita entre as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas, para as questões de Física, mostrou-se estatisticamente significativa dentro do grupo de físicos ($t(12) = 8,07$; EP = 0,14; $P < 0,05$ com diferença de médias de 1,17). Já entre as alternativas corretas e as alternativas erradas das questões Controle, não houve diferença significativa dentro do grupo de físicos ($t(12) = -0,36$; EP = 0,14; $P = 0,72$, com diferença de médias de -0,05).

Para os Engenheiros:

Já para os engenheiros, não houve diferença estatisticamente significativa ao se comparar as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas para as questões de Física ($t(7) = 0,91$; EP = 0,13; $P = 0,39$ com diferença de médias de 0,12). O mesmo ocorre entre as alternativas corretas e as alternativas erradas das questões Controle ($t(7) = -0,10$; EP = 0,07; $P = 0,92$, com diferença de médias de -0,08).

Estes resultados parecem corroborar a interpretação acima, da existência de um vínculo emocional com o conhecimento, visto que o desempenho no teste foi quase idêntico (Engenheiros acertaram 89% das questões de Física enquanto os físicos acertaram 90%) embora eles tenham apresentado padrões de reação emocional distintos. Isso mostra que os engenheiros tinham domínio dos conteúdos de Física apresentados no teste, contudo as respostas emocionais geradas neste grupo, ao contemplarem as alternativas de resposta para as questões, diferiu completamente daquelas geradas nos físicos.

Desta maneira, não houve diferença na resposta emocional gerada nos engenheiros quando estes viram as alternativas cientificamente corretas, comparada com a resposta emocional gerada quando eles viram as concepções intuitivas. Ainda que tenham mostrado um desempenho cognitivo semelhante, as respostas emocionais dos Engenheiros foram diferentes daquelas geradas nos Físicos. Entretanto, isso ocorreu apenas para as questões de Física.

Para as questões Controle, os desempenhos cognitivos foram semelhantes (ambos acertaram pouco mais de 94% das questões Controle) e ambos apresentaram o mesmo padrão de resposta emocional. Ou seja, tanto para os Físicos quanto para os Engenheiros não houve diferença estatisticamente significativa nas respostas emocionais geradas quando eles contemplaram as alternativas corretas e erradas para as questões Controle.

c) Análise apenas dentro do grupo Novatos

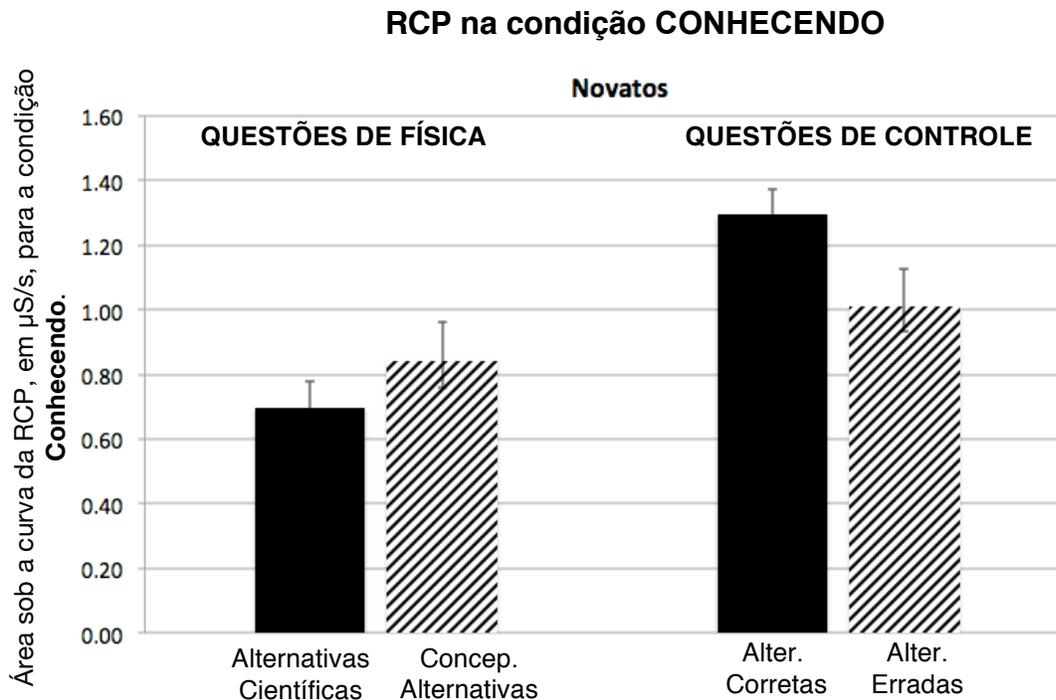


Fig. 13 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, quando sujeitos apenas vêem as possíveis alternativas para as questões do teste.

Para o grupo de Novatos, o teste *t* de amostras dependentes para a comparação das médias das RCP geradas para a condição **Conhecendo** revelou que não há diferença estatisticamente significativa entre as Alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas para as questões de Física ($t(19) = -1,52$; EP = 0,09; P = 0,14 com diferença de médias de -0,15). O mesmo ocorre com as questões Controle, não havendo diferença estatisticamente significativa entre as Alternativas corretas e as alternativas erradas para estas questões ($t(19)=1,50$; EP = 0,18 P = 0,15, com diferença de médias de 0,28).

Estes resultados indicam que não houve diferença na reação emocional dos Novatos ao contemplarem as alternativas de repostas, tanto para as questões de Física quanto para as de Controle. Entretanto, a magnitude das respostas emocionais geradas para as alternativas de respostas para as questões de Controle foi maior do que aquelas geradas para as questões de Física.

2 - Para a condição Respondendo

a) Análise entre os grupos Experts e Novatos

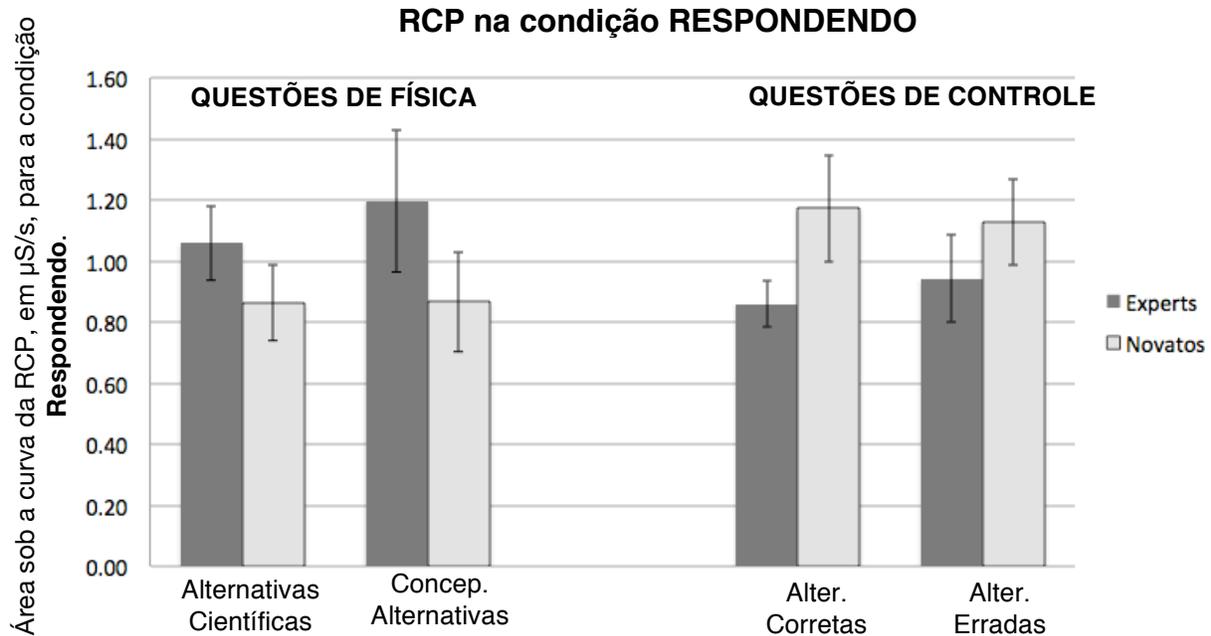


Fig. 14 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em $\mu\text{S/s}$, quando sujeitos estão respondendo às questões do teste.

Em uma ANOVA de 2 vias para medidas repetidas com os fatores Questão (Física x Controle) e Validade (Certo x Errado), os resultados revelaram que houve um efeito grupo, mostrando que as reações emocionais dos Experts ao responderem as questões de Física foram maiores do que aquelas geradas nos Novatos ($F_{(1,32)} = 13,38$; $P < 0,01$). Quanto às questões de Controle, os resultados revelaram um padrão oposto, mostrando que a reação emocional dos Novatos foi maior do que a dos Experts ao responderem a estas questões ($F_{(1,28)} = 7,36$; $P < 0,01$).

Os resultados indicam que não há diferença estatisticamente significativa para ambos os grupos, quando os sujeitos respondem de maneira correta ou errada. E isso ocorre tanto para as questões de Física quanto para as questões de Controle.

Entretanto, os Experts apresentam uma reação emocional mais intensa do que os Novatos ao responderem as questões de Física, enquanto ocorre o oposto para as questões de Controle. Ou seja, para as questões de Controle a magnitude das RCP geradas nos Novatos é maior do que aquela gerada nos Experts ao responderem a estas questões do teste.

b) Análise apenas dentro do grupo Experts

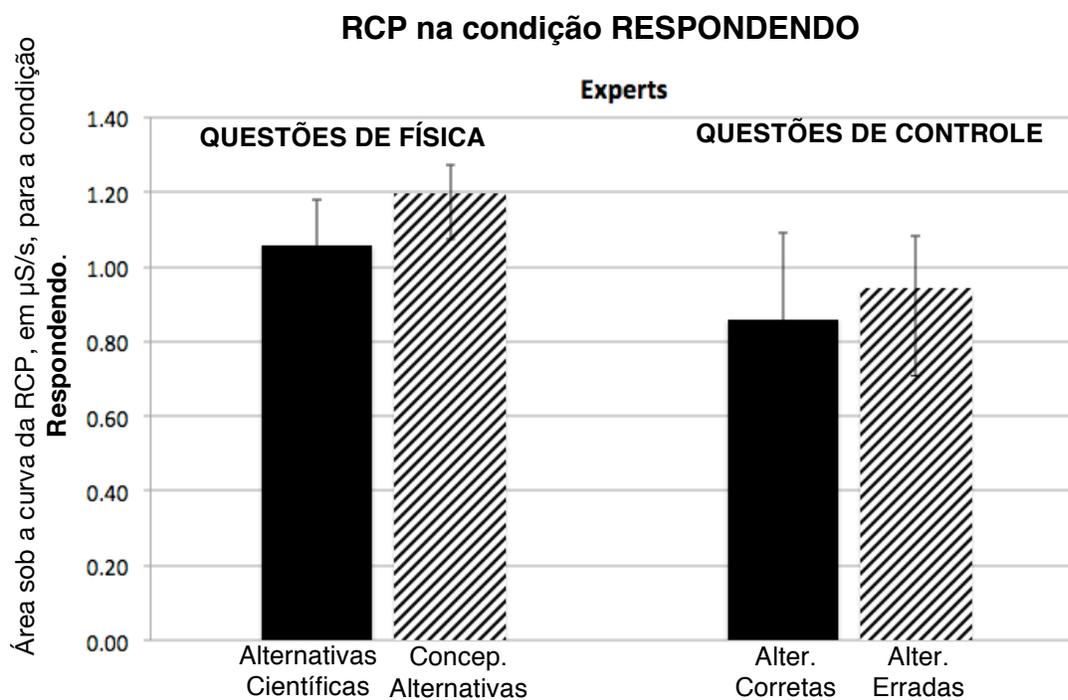


Fig. 15 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, quando sujeitos estão respondendo às questões do teste.

Foi realizado um teste t para amostras dependentes na comparação das médias das RCP geradas quando os sujeitos respondiam as questões do teste (condição **Respondendo**). Tal comparação, feita quando eles usavam as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas, para as questões de Física, não revelou qualquer diferença estatisticamente significativa ($t(14) = -0,15$; EP = 0,41; P = 0,88 com diferença de médias de -0,06). Entre as alternativas corretas e as alternativas erradas das questões Controle também não houve diferença significativa no momento

em que respondiam ao teste ($t(14)=-0,32$; EP = 0,20; P = 0,74 , com diferença de médias de -0,06).

No momento da resposta não houve diferença na reação emocional dos sujeitos, nem para as questões de Física tampouco para as de Controle.

c) Análise apenas dentro do grupo Novatos

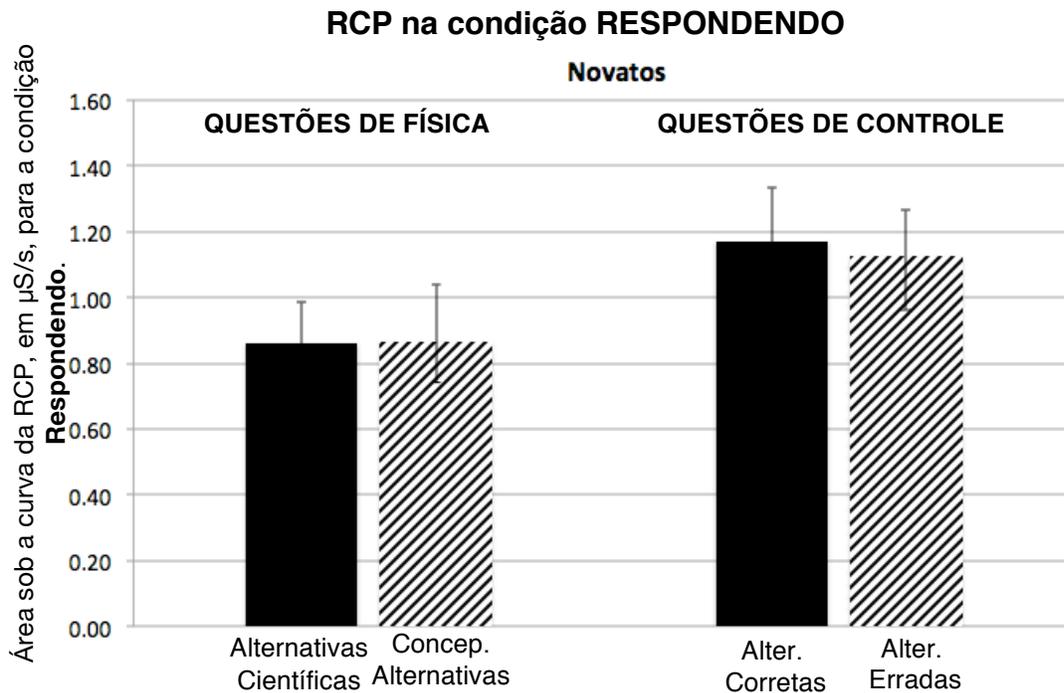


Fig. 16 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, quando sujeitos estão respondendo às questões do teste.

Para os Novatos, o teste t para amostras dependentes não revelou qualquer diferença estatisticamente significativa na comparação das médias das RCP geradas quando os sujeitos respondiam as questões do teste (condição **Respondendo**). Portanto, não houve diferença quando eles usavam as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas, para as questões de Física ($t(19)= -0,03$; EP = 0,27; P = 0,99 com diferença de médias de -0,001). Entre as alternativas corretas e as

alternativas erradas das questões Controle também não houve diferença significativa ($t(16) = 0,28$; $EP = 0,32$; $P = 0,78$, com diferença de médias de 0,10).

No momento da resposta, não houve diferença na reação emocional dos sujeitos, nem para as questões de Física tampouco para as de Controle.

3 - Para a condição **Re-conhecendo**

a) Análise entre os grupos **Experts** e **Novatos**

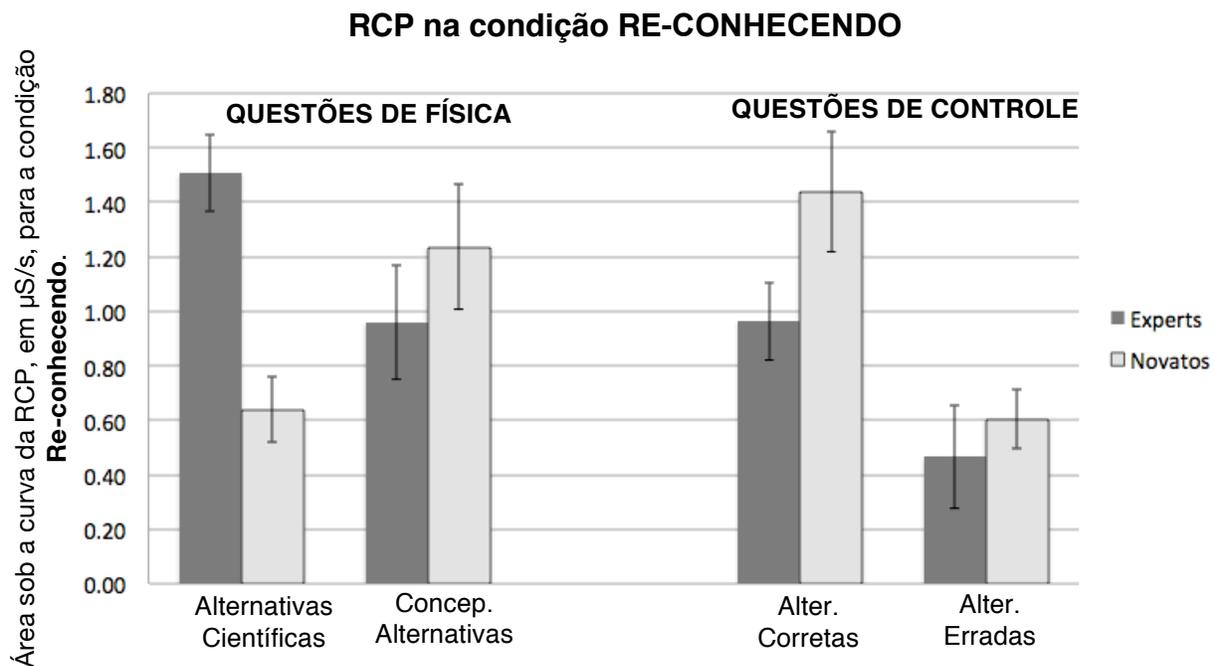


Fig. 17 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em $\mu\text{S/s}$, dos sujeitos apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste.

Foi realizado uma ANOVA de 2 vias para medidas repetidas com os fatores Questão (Física x Controle) e Validade (Certo x Errado). Os resultados revelaram que houve uma diferença significativa entre os Experts e Novatos ao verem a alternativas que usariam posteriormente para responder de maneira correta as questões de Física

($F_{(1,32)} = 5,36$; $P < 0,03$). Os Novatos, entretanto, reagem de maneira diferente dos Experts ao contemplarem as alternativas que usariam posteriormente para responder de maneira errada as questões de Física ($F_{(1,32)} = 7,21$; $P < 0,02$).

Quanto às questões de Controle, os resultados revelaram que ambos os grupos reagem de maneira mais intensa para as alternativas corretas do que para as erradas ($F_{(1,28)} = 9,61$; $P < 0,04$).

Estes resultados revelaram que Experts reagem emocionalmente de maneira mais intensa ao contemplarem as alternativas científicas que usarão para responder as questões de Física. Para os Novatos, as reações emocionais mais intensas são geradas justamente ao verem as alternativas que contém concepções alternativas e que eles usarão para responder o teste, contudo de maneira errada.

Isso ocorre apenas para as questões de Física, de modo que o padrão emocional é semelhante entre os dois grupos para as questões de controle, sendo que a diferença ocorre apenas na intensidade da resposta emocional quando os sujeitos contemplam as alternativas que usarão para responder corretamente as perguntas do teste.

b) Análise apenas dentro do grupo Experts

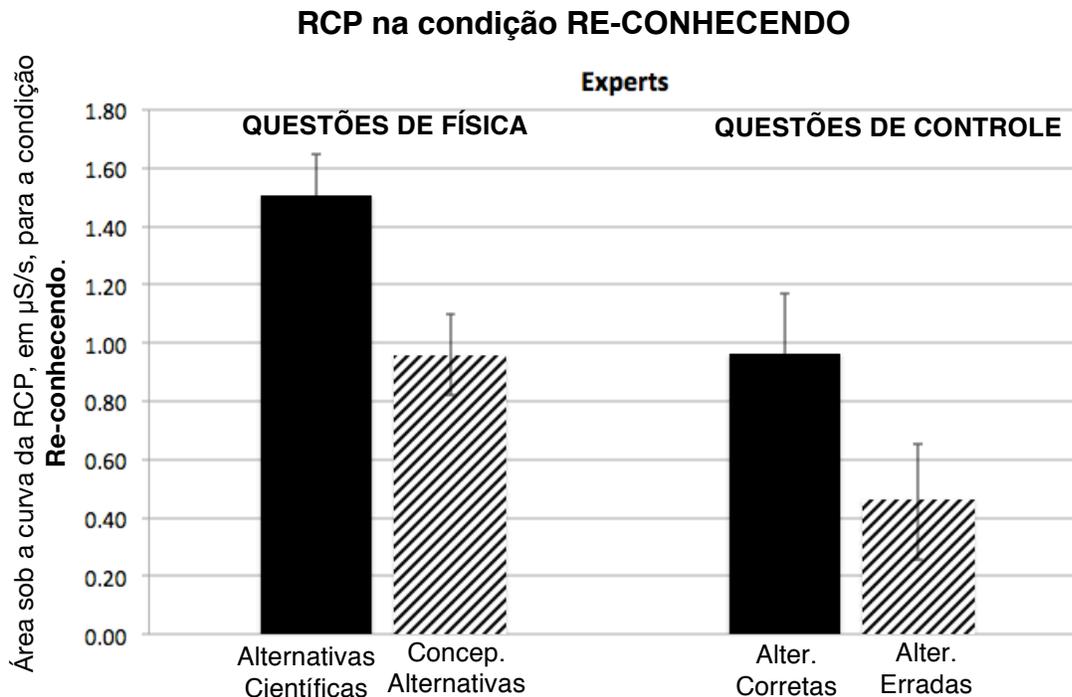


Fig. 18 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, dos sujeitos apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste.

A comparação das médias das RCP geradas nos sujeitos, quando estes viram as alternativas que irão usar para responder às questões do teste (condição **Re-Conhecendo**), foi feita por meio de um teste t para amostras dependentes.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre as alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas, para as questões de Física ($t(15) = 1,18$; EP = 0,33; P = 0,25 com diferença de médias de 0,40). Entre as alternativas corretas e as alternativas erradas das questões Controle, também não houve diferença significativa ($t(15) = 1,59$; EP = 0,32; P = 0,13, com diferença de médias de 0,51).

Os resultados indicam que não houve diferença nas reações emocionais dos Experts relacionadas com as alternativas de respostas que eles irão eleger como resposta final às questões do teste. Contudo, é preciso ressaltar que tal resultado deve-se à forma com a qual fazemos nossa análise.

Para esta condição, analisamos as RCP geradas no instante em que o sujeito contempla a alternativa que utilizará para responder às questões do teste, de maneira correta e aquelas que usará para responder de maneira errada. Entretanto, 4 sujeitos não cometeram nenhum erro nas questões de Física, de modo que não entram nesta análise.

Devido a isso, o que seria estatisticamente significativo para as questões de Física passa a não ser. Em uma simulação com o dobro de sujeitos, já é possível encontrar uma diferença significativa, indicando que a magnitude das RCP geradas nos Experts, quando eles viram as alternativas que utilizarão para responder corretamente às questões de Física, é maior do que aquela gerada, quando contemplam as alternativas que usarão para responder errado, ou seja, alternativas com concepções intuitivas. O mesmo ocorre com as questões de Controle.

c) Análise apenas dentro do grupo Novatos

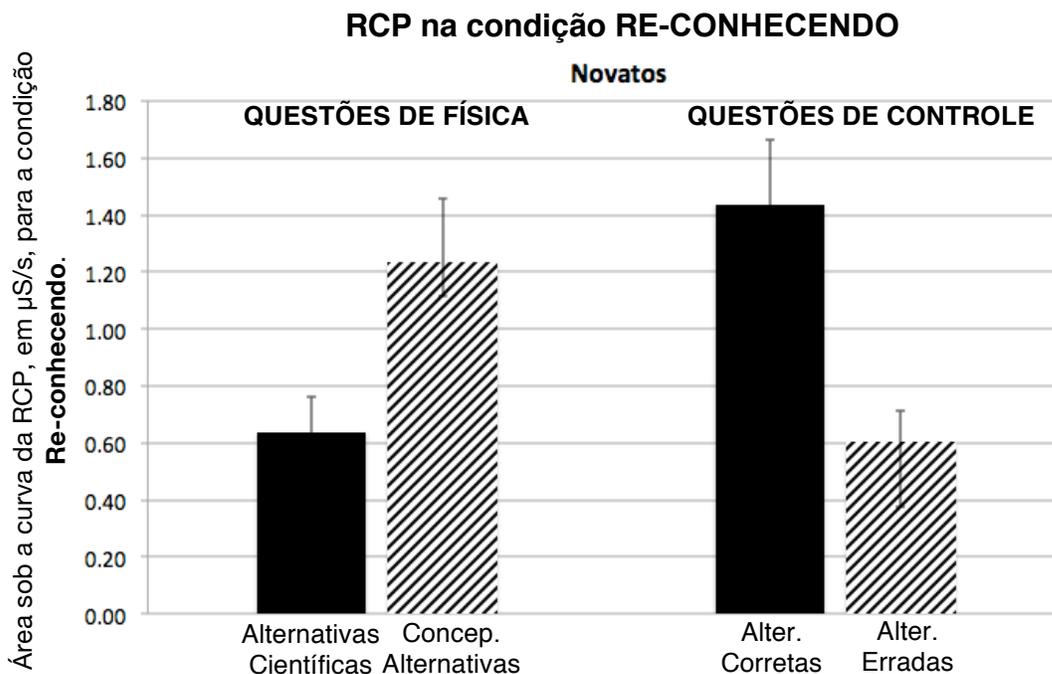


Fig. 19 - Magnitude média \pm e.p da RCP, em μ S/s, dos sujeitos apenas para as alternativas que serão usadas para responder às perguntas do teste

Para os Novatos, o teste t para amostras dependentes revelou uma diferença estatisticamente significativa nesta condição **Re-Conhecendo**, tanto para as questões de Física ($t(18) = -2,06$; EP = 0,29; $P < 0.05$ com diferença de médias de -0,59) quanto para as questões de Controle ($t(15) = 2,80$; EP = 0,31; $P < 0,05$, com diferença de médias de 0,89).

Os resultados indicam que as reações emocionais dos novatos, relacionadas com as alternativas de respostas que eles irão eleger como respostas finais às questões foram maiores para as concepções intuitivas do que para as alternativas cientificamente corretas para o teste de Física.

Já para as questões controle, as reações emocionais foram maiores para as alternativas corretas do que para as erradas. Isso parece indicar que para um sujeito não iniciado cientificamente, a escolha se vincula a situações que lhe parecem mais intuitivas. Ou seja, as concepções intuitivas são intuitivas por gerarem RCP mais intensas. Isto permite avançar a idéia de que, talvez, sejam elas que estabelecem vínculos emocionais mais fortes com tais sujeitos (que não dominam o conteúdo científico).

5.4 - Discussão Geral

De maneira geral, os resultados indicaram que os Experts e Novatos apresentaram padrões de respostas emocionais diferentes durante a realização do teste. Os dois grupos se diferenciam emocionalmente nos dois tipos de conteúdo, tanto para Física quanto para o Controle. Contudo, estas diferenças foram mais robustas nas condições **Conhecendo** e **Re-Conhecendo** do que na condição **Respondendo**. A fim de podermos entender o papel da emoção neste tipo de experimento, discutiremos agora, de maneira mais aprofundada, alguns de nossos resultados.

Inicialmente, julgamos que o mais importante é ressaltar e discutir a análise do fator *Validade*, que analisa a influência do tipo de alternativa de resposta (cientificamente correta ou concepção alternativa, nas questões de Física; certa e

errada, nas questões Controle) no estado somático dos sujeitos. Nossos resultados revelaram três pontos importantes a serem aprofundados:

PRIMEIRO PONTO

• *Os Experts apresentaram maior RCP quando viram as alternativas de resposta cientificamente corretas para as questões de Física ($p < 0,05$) do que quando viram as alternativas com Concepções Intuitivas. Entretanto, não apresentaram diferença significativa entre as alternativas de respostas certas e erradas para as questões de Controle.*

Este resultado está de acordo com nossa hipótese 1¹³. Esperávamos uma reação emocional maior para um Físico vendo uma alternativa de resposta cientificamente correta, e isto foi confirmado pelos resultados obtidos com nosso experimento.

Assim, nossos resultados sugerem a possível existência de um vínculo emocional dos Experts com o conhecimento científico. Isso porque nestes sujeitos, que possuem um sólido conhecimento formal em Física (todos doutorandos em Física e/ou Engenharia), as alternativas de respostas cientificamente corretas foram capazes de despertar neles uma reação emocional mais intensa do que aquela gerada pelas alternativas de respostas contendo Concepções Intuitivas.

Isto sugere que o modelo científico anteriormente aprendido está integrado a um estado somático, associado à aceitação deste modelo. Essa interpretação torna-se mais robusta ao analisarmos as RCP para a mesma condição, “**Conhecendo**”; contudo, agora para as questões Controle.

¹³ **Hipótese 1** - Indivíduos com sólida educação formal em Física (*Experts*) apresentarão maior magnitude da RCP quando depararem com representações cientificamente corretas, comparadas à magnitude da RCP quando estes depararem com concepções intuitivas.

Ainda que os Experts tenham apresentado um desempenho ligeiramente superior para as questões Controle (Matemática)¹⁴, ao contemplarem as alternativas certas e erradas, não houve nenhuma diferença, estatisticamente significativa, nas reações emocionais que foram geradas durante a apresentação destes estímulos.

Assim, diferente das questões de Física, os Experts, ao contemplarem as alternativas de respostas para as questões de Matemática, foram capazes de buscar em seu arsenal de conhecimentos a resposta certa. Contudo, suas RCP indicam que estas alternativas corretas não geraram um estado somático significativamente diferente daquele gerado pelas alternativas erradas. Isto sugere que talvez não exista um vínculo emocional significativo com este conteúdo e, por isso, surja um padrão de resposta emocional tão diferente daquele que surgiu nos Experts ao contrastarem as alternativas de respostas cientificamente corretas com as concepções intuitivas em Física.

Sem dúvidas, no aspecto cognitivo eles são capazes de julgar a qualidade de uma resposta a uma pergunta de Matemática, da mesma forma com que fazem em relação à de Física, fato evidenciado pela alta performance nos dois tipos de questões. Contudo, emocionalmente, eles parecem ser indiferentes às alternativas de respostas matematicamente corretas, sugerindo, assim, a existência de um vínculo emocional com o conhecimento em Física.

Deve ficar claro que não podemos falar a respeito do tipo de emoção que foi induzida pelos estímulos apresentados. Como este tipo de experimento não nos possibilita dizer nada sobre a valência da resposta emocional gerada, não podemos afirmar que um físico sentiu uma emoção positiva ou negativa ao ver uma alternativa correta. Apenas podemos afirmar que ele apresentou uma reação emocional diferente, mais intensa, ao comparar uma alternativa de resposta científica com uma concepção intuitiva.

Ao considerarmos que os sujeitos gostam de estudar e pesquisar Física, não é absurdo pensarmos que este tipo de reação emocional que coletamos esteja associada

¹⁴ Para os Experts, o percentual de acerto para as questões de controle foi de 94,5%, enquanto em Física esse percentual foi de 90,5%

a uma emoção positiva. Ou seja, é bastante plausível admitir que um Expert tenha uma sensação de bem estar, de segurança ou prazer, ao se deparar com uma alternativa que seja coerente com as representações de mundo que ele adota.

Cabe notar que nossa interpretação é passível de crítica, pois os mesmos resultados poderiam ser explicados de outro modo. Talvez esta diferença na RCP dos Experts pudesse ser consequência, por exemplo, da pressão por um bom desempenho na realização do teste. Talvez estes resultados indiquem que os Físicos estavam temerosos de responder errado e isto geraria a diferença na RCP. Ou que ficavam “aliviados” ao verem a alternativa correta.

Contudo, preterimos esta interpretação, pois, não houve diferença na reação emocional destes sujeitos quando viram as alternativas de respostas para as questões Controle.

Acreditamos que um pós-graduando em Física deveria se sentir igualmente ou até mesmo mais pressionado ao se imaginar cometendo um erro em uma questão de matemática básica, como a resolução de equações de 1º grau ou a obtenção do módulo do número “-4”. Além disso, se a tensão do momento fosse a responsável pelas diferenças observadas nas RCP, o mesmo deveria ter ocorrido com os integrantes do grupo de Novatos, afinal são todos alunos de pós-graduação sendo testados em seus conhecimentos básicos de Matemática. Vale lembrar que as questões de controle foram extraídas de um teste prestado por todos os estudantes que desejam ingressar numa universidade na Califórnia.

Devemos acrescentar que o fato destes estados somáticos surgirem durante o momento em que os sujeitos apenas viam (condição **Conhecendo**) as alternativas de resposta minimiza a possibilidade de que tais reações emocionais tenham sido geradas pelo fato de estarem nervosos face à possibilidade de um erro. Vale ressaltar que todos os participantes do experimento foram instruídos a simplesmente imaginar a situação exposta no teste naquele momento, sem julgar se as alternativas eram certas ou erradas.

Parece-nos mais razoável considerar a influência da pressão emocional devido à incerteza na obtenção da resposta correta no instante em que se responde à pergunta

(condição **Respondendo**), e não no momento em que apenas se contempla as possíveis alternativas de resposta. Acreditamos que este instante é mais “livre” de pressão pelo acerto. Trata-se de uma situação na qual a percepção está menos guiada pela cognição.

Por isso, entendemos esta fase, na qual não há utilização de estratégias ou heurísticas de resolução de problemas, como o retrato de uma primeira reação emocional gerada pelo estímulo (daí o termo **Conhecendo**, que utilizamos para esta condição). Logo, é plausível associar este aumento na RCP quando os Físicos viram as alternativas de respostas cientificamente corretas a um estado somático que indica uma relação emocional destes sujeitos para com o conhecimento científico.

A fim de reforçarmos a validade de nossa interpretação, resolvemos investigar individualmente o padrão de RCP dos sujeitos. A idéia é tentar encontrar algum padrão de resposta emocional que indique mais fortemente a existência de um vínculo emocional com o conhecimento. Acreditamos que desta forma podemos auxiliar a discussão que propomos, pois, os padrões de RCP podem ser visualmente comparados. Com isso, queremos evidenciar um dado interessante que parece corroborar nossa interpretação.

Os gráficos, apresentados a seguir, mostram os valores médios da intensidade das RCP para cada sujeito, durante a condição “**Conhecendo**”. Separados em um conjunto para cada grupo, os gráficos contém as RCP de cada sujeito somente para as questões de Física, apresentando, assim, as respostas emocionais geradas quando viram as alternativas cientificamente corretas e as concepções intuitivas.

Observando os gráficos relativos aos sujeitos 2, 3, 8, 13, 14, e 15 no grupo dos Experts e o sujeito 7 do grupo dos Novatos, é possível comparar as diferenças no padrão de RCP geradas. Apresentamos os gráficos e, em seguida, a análise qualitativa dos resultados.

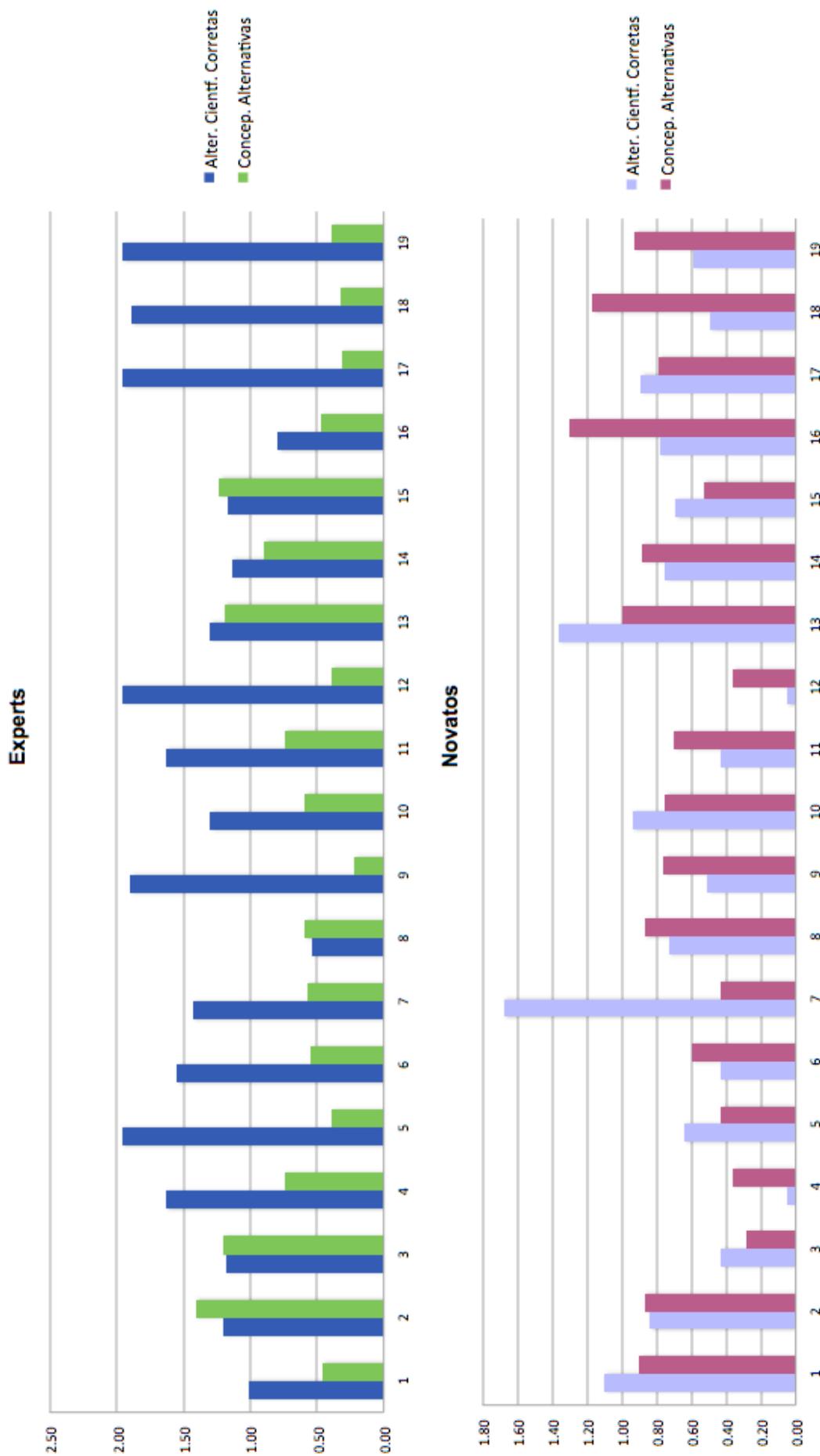


Fig.20 - Os gráficos acima mostram os valores médios da intensidade das RCP de cada sujeito, durante a condição “Conhecendo”, somente para as questões de Física. Observe a semelhanças e diferenças entre padrão de RCP dos sujeitos 2, 3, 8, 13, 14 e 15 e os dos outros integrantes do grupo dos Experts. Observe também as semelhanças e diferenças entre padrão de RCP dos sujeitos 7 e os dos outros integrantes do grupo dos Novatos.

Inicialmente, focaremos nossa análise individual dentro do grupo de Experts. Ao examinar cada um dos 19 integrantes, um padrão de RCP nos chamou muito a atenção. Observando os gráficos referentes aos indivíduos 2, 3, 8, 13, 14, e 15 é possível notar que, diferente dos outros 13 integrantes deste grupo, eles foram os que apresentaram a menor diferença em suas reações emocionais ao verem as alternativas de resposta cientificamente corretas, quando comparada àquelas contendo as concepções intuitivas.

Estes eram 6 dos 7 engenheiros existentes no grupo de Experts (o outro indivíduo era o sujeito de número 16). Ainda que com ótimos desempenhos no teste (em 40 pontos, fizeram 38, 35, 35, 38, 37 e 36, respectivamente), eles apresentaram pouca diferença na reação emocional gerada ao verem os diferentes tipos de alternativas de resposta para as questões de Física. Ou seja, ainda que dominassem o conteúdo e que fossem capazes de acertar quase todas as questões propostas, tomar contato com as representações de mundo criadas pela Física não gerou resposta emocional significativamente maior do que aquela gerada ao ver uma concepção intuitiva.

Isto parece indicar que ambas as representações de mundo estão em um mesmo patamar emocional. Mesmo sendo capazes de distinguir entre as representações corretas e as erradas, não houve vínculo emocional significativamente diferente entre elas. Buscamos completar os resultados acima conhecendo um pouco do histórico de cada um dos sujeitos.

Quatro deles disseram ter uma relação meramente operacional com o conhecimento físico, assim como com Matemática, enquanto que os outros três alegaram gostar e se interessar pela Física¹⁵.

Em resumo, os dados referentes a estes sujeitos revelam que estes engenheiros possuem um conhecimento formal condizente com o que se espera de um aluno de doutorado na carreira científica. Contudo, nossos resultados sugerem que eles não possuem vínculo emocional com o conhecimento físico, possivelmente tratando-o como um instrumento de seu trabalho e pesquisa.

¹⁵ Estas observações são baseadas em conversas informais após a tomada de dados.

Passaremos à comparação dos padrões de RCP dos Experts e Novatos. De maneira geral, cada físico apresenta uma maior RCP gerada para as alternativas de respostas cientificamente corretas quando comparada com as RCP geradas ao verem as concepções intuitivas. Tal padrão se contrasta com aquele apresentado pelos integrantes do grupo Novatos, pois, para esses, esta diferença é emocionalmente indiferente.

Detendo-nos ao padrão das RCP do sujeito 7, do grupo dos Novatos, surpreendeu-nos o fato deste indivíduo apresentar um padrão de RCP semelhante ao de um físico. Sua reação emocional foi maior ao ver as alternativas de respostas cientificamente corretas, quando comparada àquela gerada ao ver as concepções intuitivas. Isso, então, nos levou a examinar mais cuidadosamente seu desempenho no teste.

Dos 19 sujeitos presentes no grupo dos Novatos, ele foi o que obteve o melhor desempenho, acertando 37 das 40 questões, sendo também o único a acertar 85% das questões de Física (das 20 questões, ele acertou 17, sendo que a média de acerto do grupo foi cerca de 9, por volta de 41%). Acreditamos que este resultado indica existência de um vínculo emocional deste sujeito com conhecimento físico. Ou seja, embora integrante do grupo de não-físicos, os resultados obtidos no RCP nos fariam crer tratar-se de num verdadeiro “amante da Física”!

Visando corroborar esta interpretação, entramos em contato com ele para entendermos o porquê de um desempenho relativamente elevado¹⁶. Doutorando em Artes, ele é músico profissional e, como já esperávamos, declarou gostar muito de Física e Ciências em geral. Ele nos informou que sempre pensou em ser físico, o que o levou a cursar várias disciplinas de Física básica durante a graduação, entretanto, no fim, sua predileção pela música levou-o a abandonar a carreira científica.

Assim, diferente dos estudantes de engenharia presentes no grupo dos Experts, além de apresentar neste teste o conhecimento formal exigido por um profissional da área científica, este não-físico revelou ter um vínculo emocional com a Física muito

¹⁶ Vale lembrar que trata-se de um sujeito que optou pela carreira de músico, o que faria acreditar em um pequeno domínio nas áreas de Ciências e Matemática.

maior do que aquele manifestado pelos engenheiros presentes nesse experimento. Ele apresentou uma performance cognitiva no teste semelhante aos integrantes do grupo dos Experts, acertando quase todas as questões.

Contudo, semelhante aos físicos e diferente dos engenheiros, este músico mostrou-se emocionalmente ligado ao conhecimento científico, visto que, ao contemplar as alternativas de resposta cientificamente corretas, foram gerados estados somáticos associados a uma reação emocional muito maior do que aquela que surgiu quando ele viu as concepções intuitivas.

SEGUNDO PONTO

- *Os Novatos não apresentaram diferença significativa nas RCP geradas quando viram as alternativas de respostas cientificamente corretas quando comparadas com aquelas geradas ao verem as concepções intuitivas ($p < 0,05$).*

Este resultado contrariou as nossas expectativas iniciais, pois a hipótese 2¹⁷ era de que os Novatos apresentariam uma resposta emocional maior ao verem alternativas de respostas contendo concepções intuitivas quando comparadas àquelas geradas ao verem as alternativas de respostas cientificamente corretas. Para nós, este padrão de RCP inverso àquele dos Experts revelaria um vínculo emocional dos não-físicos para com as concepções intuitivas.

Para entendermos melhor o porquê desse resultado, entramos em contato com todos os participantes do experimento, a fim de conhecermos o histórico de aprendizagem em Física de cada um deles. Para nossa total surpresa, diferentemente do que ocorre no Brasil, os participantes de nosso experimento estudaram em escolas de Ensino Médio americanas (*High School*) com currículo contendo opções de escolha: as disciplinas científicas podiam ou não integrar a grade de matérias de cada um deles. No caso, dos 19 integrantes do grupo de Novatos, 14 deles nunca haviam feito um curso de Física em toda a sua vida! Nossa expectativa era de que as questões

¹⁷ **Hipótese 2** - Indivíduos sem uma sólida educação formal em Física (Novatos) apresentarão maior magnitude da RCP quando depararem com concepções intuitivas, comparadas à magnitude da RCP quando estes depararem com representações cientificamente corretas.

propostas em nosso experimento não seriam totalmente inéditas a nenhum dos sujeitos. Contudo, a maior parte dos 14 sujeitos afirmou nunca ter pensado em questões dessa natureza.

Nossa interpretação é de que estes sujeitos não apresentaram diferenças significativas de RCP entre as alternativas cientificamente corretas e aquelas contendo concepções intuitivas porque ambas as representações de mundo estariam para eles em um mesmo patamar emocional. Sugerimos que estes indivíduos estariam em uma fase anterior às concepções intuitivas, na qual, pela falta de oportunidade em tratar questões relativas ao mundo Física, não houve o estabelecimento de vínculos emocionais. Chamaremos este estado de “fase das pré-concepções intuitivas”.

Acreditamos que esses indivíduos possuem um conjunto de concepções forjadas em sua vivência diária, guardadas em sua memória e associadas a diferentes estados somáticos. Contudo, como nunca foram convidados a pensar, falar e se posicionar sobre tais concepções (o que normalmente ocorre nas aulas de Física/Ciências), os estados somáticos gerados por elas e/ou por alternativas cientificamente corretas não são significativamente diferentes entre si.

Logo, não houve o estabelecimento de vínculos emocionais com as formas de conhecimento que melhor se adéquam a representar o mundo físico no qual vivem. Tanto a resposta cientificamente correta quanto a concepção alternativa, para estes sujeitos, seriam, nesse momento, emocionalmente indiferentes. Por não haver nenhum conflito emocional, não surge nenhum estado somático significativo quando são apresentadas concepções de mundo diferentes. Isto pode indicar que o vínculo emocional com o conhecimento ainda não foi estabelecido, nem com as concepções intuitivas nem com qualquer outra.

Para dar suporte a esta interpretação, vale notar que os Novatos apresentam uma maior RCP para as questões Controle do que para as questões de Física ($p < 0,005$), o que estaria de acordo com nossa leitura destes resultados.

Como a maioria dos sujeitos cursou Matemática anteriormente, no Ensino Médio, e, provavelmente, responderam questões semelhantes para ingressar na universidade, uma maior RCP foi gerada nas situações envolvendo as questões de

Controle, quando comparada com a RCP gerada para as questões de Física. Ou seja, o envolvimento emocional dos sujeitos quando viram, e mesmo quando responderam, as questões de Matemática foi maior do que quando viram, ou responderam as questões de Física.

Entretanto, ainda que a maioria tenha apresentado um ótimo desempenho nas questões do Controle (a média de acertos foi de 89,2%), não houve diferença na RCP gerada ao se contrastar as alternativas certas com as erradas ($p = 0,15$). Ou seja, assim como os engenheiros em relação às questões de Física, os Novatos souberam, a partir de um aspecto cognitivo, diferenciar entre a resposta certa e a errada, tendo em visto o bom desempenho no teste.

Contudo, emocionalmente, não houve diferença entre as respostas dadas, pois, para eles, são todas situações equivalentes, visto que a Matemática seria apenas um instrumento, sem ter associada a ela um vínculo emocional.

TERCEIRO PONTO:

- *Os padrões opostos entre os Experts e Novatos para as RCPs geradas nestes sujeitos quando viram as alternativas de respostas que usarão para responder às questões do teste de Física (condição **Re-conhecendo**).*

Nossos resultados revelaram que as RCP geradas nos Experts ao contemplarem as alternativas que eles usarão para responder às questões do teste foram maiores para aquelas que são cientificamente corretas quando comparadas com as demais alternativas de resposta. Da mesma forma, as RCP geradas nos Novatos, ao contemplarem as alternativas que eles usarão para responder às questões do teste, foram maiores para aquelas contendo concepções intuitivas quando comparadas com as alternativas cientificamente corretas. Em outras palavras, ambos os grupos apresentaram uma reação emocional maior quando viram as alternativas que iriam usar posteriormente para responder às perguntas.

Isso sugere que esta reação emocional seria semelhante a uma “resposta emocional antecipatória”, que pode vir a participar do processo de tomada de decisão dos sujeitos. A diferença entre os grupos de indivíduos deveu-se à formação prévia que possuem: científica no caso do Experts e intuitiva (“Senso Comum”) para o caso dos Novatos.

Em ambos os casos, parece-nos aceitável considerar que esta resposta antecipatória esteja de acordo com a escolha da alternativa eleita, como se fosse uma reação emocional que é gerada ao contemplar o que eles acreditam que seja a representação de mundo mais adequada ao seu conhecimento. Tal interpretação está de acordo com nossas hipóteses 3 e 4.¹⁸

Dentro desta perspectiva, é possível entender o porquê de os Novatos apresentarem um padrão de resposta emocional oposto ao dos Experts na condição **Re-conhecendo**. Ou seja, para os não-físicos, as RCP geradas, quando estes contemplaram as alternativas que iriam eleger para responder às perguntas do teste de Física, foram maiores justamente para aquelas contendo as concepções intuitivas. Neste caso, por se tratar de sujeitos que não possuem o mesmo domínio do conhecimento físico de um Expert, é plausível considerar que uma espécie de resposta emocional antecipatória seja gerada ao contemplarem uma alternativa de resposta que esteja de acordo com uma representação de mundo forjada em sua vivência diária e, por isso, cientificamente equivocada.

Ao considerar que, ao responder ao teste, todos os participantes escolhem as alternativas que acreditam estar corretas, não é de se surpreender que entre os Novatos as RCP mais intensas estejam de acordo com a resposta errada. Em outras palavras, isto significa que, ainda que não dominem o conteúdo e/ou mesmo que escolham “chutar” a resposta certa, o vínculo emocional que estes sujeitos têm com as concepções intuitivas parece guiar esta escolha. Nossos resultados, então, sugerem que o que normalmente chamamos de intuição do indivíduo pode ser pensada como

¹⁸ **Hipótese 3** - Esperamos que um aumento da magnitude da RCP irá encorajar a rejeição da escolha de concepções intuitivas e irá endossar a escolha das representações cientificamente corretas para indivíduos com sólida educação formal em Física (*Experts*).

Hipótese 4 - Esperamos que um aumento da magnitude da RCP irá encorajar a rejeição da escolha de representações cientificamente corretas e irá endossar a escolha das concepções intuitivas para indivíduos sem uma sólida educação formal em Física (*Novatos*).

um vínculo emocional que este possui com uma determinada representação de mundo, que o leva a escolher a alternativa errada, acreditando se tratar da resposta correta.

Esta interpretação está de acordo com aquela que apresentamos no ponto anterior (“Segundo Ponto”), referente ao fato de não ter havido uma diferença significativa nas RCP dos Novatos ao contemplarem as alternativas de resposta cientificamente corretas e aquelas com as concepções intuitivas.

Como dissemos, acreditamos que o fato destes sujeitos particulares nunca terem sido levados a pensar sobre tais questões (visto que a maioria nunca teve aulas de Física) fez com que eles se situassem numa fase de “pré-concepções intuitivas”. Assim, ao avaliar as RCP geradas ao contemplarem as diversas alternativas de respostas não surge uma diferença significativa entre a correta e as erradas.

Porém, ao se depararem com as questões colocadas no teste, isso parece fazer com que, talvez pela primeira vez, eles tenham sido levados a buscar em seu arsenal de conhecimentos o que aconteceria em cada situação a eles apresentada. Assim, é justamente quando se analisa as reações emocionais, somente daquelas alternativas que eles utilizarão para responder as perguntas, que se pode perceber o vínculo emocional com as concepções intuitivas.

Resumindo, por tratar-se de um primeiro momento no qual devem responder a perguntas que nunca se fizeram antes, as alternativas que escolhem como respostas são exatamente aquelas que mais se adéquam ao mundo vivencial e que, não por tratar-se de uma coincidência, são aquelas com as quais estes indivíduos possuem um vínculo emocional mais forte.

Conclusão

“De manhã na cozinha sobre a mesa vejo o ovo. Olho o ovo com um só olhar. Imediatamente percebo que não se pode estar vendo um ovo. Ver o ovo nunca se mantêm no presente: mal vejo um ovo e já se torna ter visto o ovo há três milênios. – No próprio instante de se ver o ovo ele é a lembrança de um ovo. – Só vê o ovo quem já o tiver visto.”

Clarice Lispector

O trabalho apresentado nesta tese teve como objetivo principal compreender o papel da emoção no uso e aquisição do conhecimento científico. Ao mesmo tempo, buscamos construir um caminho viável de pesquisa que pudesse conectar, de maneira efetiva, Neurociências e Educação.

Neste cenário, optamos por investigar uma questão ainda em aberto no Ensino de Ciências: a persistência das concepções espontâneas em Física. Desta forma, ao tratarmos um problema significativo em Educação Científica, procuramos avançar no entendimento do papel de elementos emocionais nos processos cognitivos.

Conseguimos combinar o arcabouço teórico-metodológico da Neurociência com testes tradicionais em Ensino de Física, que foram validados e vem sendo utilizados há mais de três décadas em pesquisas na área. Especificamente, investigamos se diferentes padrões de respostas psicofisiológicas associadas a reações emocionais estariam vinculados a diferentes formas de representação de situações e fenômenos do mundo físico.

Elaboramos um experimento no qual utilizamos questões criadas por pesquisadores em Ensino de Física para levantar as concepções intuitivas de estudantes sobre situações que envolvem, principalmente, conceitos de Dinâmica. Tais questões foram desenvolvidas e estão presentes em inúmeros trabalhos pertencentes a um domínio específico e importante das pesquisas em Ensino de Ciências, que trata da *mudança conceitual* por meio do *conflito cognitivo*.

Embora extensamente estudado, ainda hoje a persistência de concepções intuitivas, mesmo após anos de educação formal em Ciências, é um problema significativo para a área. Com isso, ao adaptarmos um instrumento de pesquisa, criado no contexto de pesquisas em Educação Científica, para ser utilizado em um estudo tipicamente oriundo da Neurociência, estabelecemos um novo olhar sobre um problema antigo na aprendizagem de conteúdos de Física, trazendo à tona a importância de elementos emocionais, quase nunca considerados no tratamento deste tema.

Assim, investigamos as repostas psicofisiológicas geradas em Experts (físicos e engenheiros) e Novatos, ao responderem questões de Física e Controle (Matemática básica). Nossos resultados revelaram que os dois grupos apresentaram respostas emocionais diferentes para os dois tipos de conteúdo. A seguir, apresentaremos, de maneira resumida, estes resultados, bem como nossas interpretações sobre esses.

Para a condição **Conhecendo**¹⁹, as respostas emocionais geradas nos Experts foram maiores do que aquelas geradas nos Novatos para o conteúdo de Física, enquanto um padrão oposto surgiu para o conteúdo de Controle, sugerindo, assim, a existência de um vínculo emocional dos Experts com o conhecimento físico.

Especificamente, as respostas emocionais geradas nos Experts foram maiores ao contemplarem as alternativas de repostas cientificamente corretas do que aquelas geradas quando viram as alternativas contendo concepções intuitivas. Tal padrão apareceu apenas para o conteúdo de Física, de modo que eles foram emocionalmente indiferentes para as alternativas certas ou erradas nas questões de Controle.

Tendo em vista que o número de acertos foi semelhante nos dois tipos de questões, esse resultado sugere que, cognitivamente, os Experts dominavam ambos os conteúdos, mas a existência de um vínculo emocional surgiu apenas para a Física.

Além disso, ao se analisar separadamente os integrantes deste grupo, nossos resultados revelaram que físicos e engenheiros apresentaram padrões de respostas emocionais diferentes associadas ao conhecimento em Física. Mesmo tendo

¹⁹ Condição **Conhecendo**: respostas emocionais do sujeito nos momentos nos quais ele toma contato com todas as quatro alternativas de resposta para a pergunta.

desempenhos cognitivos idênticos na realização do teste, os engenheiros não mostraram qualquer diferença entre o padrão de resposta emocional gerado quando contemplaram as alternativas científicas em relação àquele gerado quando viram as concepções intuitivas.

Este resultado sugere que ambos dominavam o conteúdo; porém, diferentemente dos físicos, os engenheiros não possuíam um vínculo emocional com a Física, talvez, tratando-a apenas como um instrumento de trabalho. Esta interpretação torna-se ainda mais forte ao analisarmos as repostas emocionais geradas quando os sujeitos contemplaram as alternativas de respostas para as questões de Controle. Neste caso, tanto engenheiros quanto físicos apresentaram um desempenho cognitivo idêntico e o mesmo padrão de resposta emocional, sendo ambos emocionalmente indiferentes em relação às alternativas de respostas certas e erradas para o conteúdo de Matemática presente nas questões de Controle.

Já os Novatos não apresentaram diferenças no padrão de resposta emocional quando viram as diferentes alternativas de respostas, tanto para as questões de Física quanto para as questões de Controle. Creditamos esta indiferença emocional entre as alternativas científicas e as concepções intuitivas ao fato de a maioria destes indivíduos nunca ter frequentado aulas de Física. Como em sua trajetória escolar já haviam cursado Matemática, os indivíduos desse grupo apresentaram respostas emocionais mais intensas para o conteúdo de Controle do que para o de Física.

Além de apresentarem um desempenho cognitivo bastante semelhante ao dos Experts para as questões de Controle, os Novatos também se mostraram emocionalmente indiferentes ao contemplarem as alternativas certas e erradas para estas questões. Estes resultados sugerem que ambos os grupos apresentaram um excelente conhecimento em Matemática básica; contudo, sem vínculos emocionais com este conteúdo.

Para a condição **Re-conhecendo**²⁰, nossos resultados revelaram que Experts e Novatos reagiram emocionalmente de maneira oposta. Os padrões de respostas

²⁰ Condição **Re-conhecendo**: resposta emocional medida no sujeito durante a condição **Conhecendo**, limitada apenas à alternativa utilizada por ele para responder a pergunta.

emocionais gerados nessa condição sugerem que a emoção pode participar do processo de tomada de decisão dos sujeitos quando estes precisam escolher entre uma alternativa de resposta científica ou uma concepção intuitiva.

Para os Experts, como esperávamos, as respostas emocionais foram maiores quando estes contemplaram as alternativas que posteriormente usariam para responder corretamente às perguntas. Isto pode significar que elementos emocionais endossam a escolha de uma alternativa científica quando os sujeitos possuem uma sólida formação em Física.

Já para os Novatos, ocorreu justamente o oposto, fato que também está de acordo com uma de nossas hipóteses iniciais. As respostas emocionais foram mais intensas quando estes sujeitos viram as alternativas que usariam posteriormente, ao julgar que estavam corretas. Contudo, as RCP geradas foram maiores exatamente para aquelas que continham as concepções intuitivas, levando-os, assim, ao erro.

Este resultado sugere que a emoção pode, no caso de indivíduos sem sólida formação em Física, endossar a escolha destas concepções intuitivas em detrimento das representações científicas. Não queremos dizer que tal escolha é exclusivamente emocional. Entretanto, é plausível admitir que a ausência de um conhecimento científico sólido leva-os a privilegiar tais concepções intuitivas (justamente aquelas que os estudos em concepções alternativas mapearam desde a década de 70), pois aparentemente, são elas que melhor se prestam para representar o mundo cotidiano no qual vivem.

Sendo assim, estes indivíduos possuem maior vínculo emocional com estas concepções, podendo influenciar na tomada de decisão. Logo, visto que a resposta emocional está diretamente relacionada com a escolha destas concepções intuitivas, é possível entender a emoção como “*qualificador*” da decisão do sujeito. Nossos resultados sugerem que, para estes estudantes, o grande guia para suas respostas pode ter sido a emoção, de modo que o senso comum, a intuição, parece ser validada emocionalmente.

Além disso, esse resultado corrobora a perspectiva da existência de um estágio de “pré-concepções intuitivas”, que inicialmente parece não permitir que o sujeito

qualifique emocionalmente as diferentes representações de mundo. Parece-nos que esse movimento de tomar contato com as situações problemas presentes no experimento fez com que os indivíduos testados pensassem sobre as várias possibilidades de representação disponíveis em seu repertório cognitivo (derivado de experiências vivenciadas e, portanto, gravadas na memória). Como nunca participaram de uma aula de Física (nas quais tais situações são comumente tratadas), no momento em que realizam o teste, materializa-se a oportunidade de se fazer questionamentos típicos da aprendizagem de Física.

Desta forma, ao analisarmos as respostas emocionais geradas nestes sujeitos quando eles tomam contato com algumas situações que os levam a tomar uma decisão frente a elas, é possível considerar que ocorra a passagem de uma fase de pré-concepções para a fase de concepções intuitivas, que temos bem estabelecida na literatura em Ensino de Física.

Por fim, na condição **Respondendo**²¹ não houve diferença entre os padrões emocionais de Experts e Novatos, tampouco entre responder de forma correta ou errada para os dois tipos de conteúdo. Como esta medida corresponde ao momento em que os sujeitos efetivamente decidem sua resposta, interpretamos este resultado como sendo o instante no qual a razão “toma as rédeas” da situação e o sujeito efetua sua escolha.

Tal interpretação está de acordo com pesquisas em Neurociências relacionadas ao processo de tomada de decisão. Diversos resultados revelam que momentos semelhantes àqueles relacionados com nossas condições **Conhecendo** e **Reconhecendo** são processos inconscientes, nos quais o papel das respostas emocionais é determinante.

Da mesma forma, instantes semelhantes àquele relacionado com a nossa condição **Respondendo**, nos quais, após rápidas deliberações, o sujeito faz uma escolha, processos cognitivos conscientes entram em cena, estabelecendo, assim, a dinâmica entre emoção e cognição na tomada de decisão.

²¹ Condição **Respondendo**: resposta emocional do sujeito no momento no qual ele responde à pergunta.

Os resultados que obtivemos nos levam a discutir profundamente o que chamamos, ao longo de toda esta tese, de vínculos emocionais. Para isso, é preciso considerar que tratamos os modelos disponíveis na mente dos indivíduos, em termos epistemológicos, como “representações de mundo”.

Desta forma, sejam eles científicos ou intuitivos, tais modelos são utilizados para dar coerência às explicações elaboradas pelos sujeitos. Quando se examina a literatura sobre explicações científicas e psicologia cognitiva, é possível considerar esta “coerência” em termos do que é chamado de “**sentimento de entendimento**” (Trout, 1998; 2002; 2007; Chinn, 1993; Chinn e Brewer, 1993a; b; Brewer e Chinn, 1994; Brewer, Chinn *et al.*, 1998; Brewer, 1999).

Estes autores exploram o fato de que uma explicação, para fazer sentido ao ponto de ser aceita, deve também “parecer” boa. Psicologicamente, parece ser necessário que exista um “*sentimento de entendimento*”, que é uma espécie de sensação de conforto, de segurança, que faz com que surja uma satisfação intelectual que leva o sujeito a aceitar um modelo que parece mais adequado ao que ele acredita.

Dentro desta perspectiva teórica, elementos emocionais e afetivos participam da aceitação de modelos que se prestam a explicar o mundo, de modo que não bastam apenas componentes lógicos, racionais e cognitivos para que um indivíduo adira a uma representação de mundo. Desta forma, esse “*sentimento de entendimento*” surge com a impressão, com a sensação de que um determinado modelo explicatório é coerente e plausível, parecendo ser totalmente adequado, emocional e cognitivamente para um determinado sujeito.

Assim, o que viemos chamando até o momento de “vínculo emocional” seria justamente essa espécie de sensação, esse “**sentimento de entendimento**”, que parece estar associado aos modelos utilizados pelos indivíduos na construção de suas explicações. Com isso, é possível apresentar evidências psicofisiológicas para um modelo teórico que possibilita entender como a emoção participa da aquisição e uso do conhecimento científico.

Desta forma, podemos considerar que a persistência das concepções intuitivas pode estar fortemente vinculada ao *sentimento de entendimento* que elas

proporcionam nos sujeitos. Ou seja, é bastante provável que um indivíduo que está imerso em um mundo “perceptualmente aristotélico”, estabeleça vínculos emocionais com representações intuitivas, que são forjadas exatamente em sua experiência diária nesse mundo.

Assim, um estudante, ao se deparar com uma questão na qual deve decidir, por exemplo, se uma bola com mais massa cai mais depressa, mais devagar ou com a mesma velocidade que uma bola com menos massa, não é de se surpreender que ele apresente uma resposta emocional mais intensa para a alternativa errada. Seriam as concepções intuitivas que dariam a ele uma sensação de entendimento que se encaixa perfeitamente com seu mundo vivencial. Neste caso, como sugerem os resultados que obtivemos, seria esta sensação, esse elemento emocional que parece “guiar” a escolha do estudante em situações como as que apresentamos neste trabalho.

A interpretação que apresentamos nos permite compreender a permanência de concepções intuitivas depois de anos de educação formal, levando até mesmo físicos profissionais a cometerem erros considerados básicos. Como quase a totalidade das estratégias de ensino de Física, implícita ou explicitamente, se foca no *conflito cognitivo*, é plausível considerar que os estudantes possam manter vínculos emocionais com determinados modelos intuitivos, mesmo após terem passado pelo ambiente escolar.

Assim, talvez, para que haja uma *mudança conceitual* de fato seja importante considerar que o conhecimento científico apresentado deve causar um conflito, não somente de ordem cognitiva, no sentido estrito, mas também um **conflito emocional**. Nesta direção, o papel da emoção na forma tradicional de conceber o processo de aprendizagem – como agente mobilizador interpessoal ou elemento motivacional entre os estudantes – precisa ser ampliado.

Nossos resultados sugerem que a emoção parece desempenhar um papel mais importante, servindo como *qualificador*, valorando o conhecimento e participando de sua aquisição e uso na construção de representações de mundo. Em outras palavras, talvez seja importante buscar estratégias que façam com que um estudante mude sua relação emocional com as representações possíveis do mundo.

Os resultados que obtivemos indicam que um cientista, ao invés de alguém frio, de alguma forma, desenvolveu um vínculo emocional com as representações científicas do mundo. Isso porque um processo de decisão, como o que está relacionado com o experimento que elaboramos, tradicionalmente é tido como completamente racional.

Entretanto, nossos resultados sugerem que esta pode não ser uma leitura adequada deste tipo de tomada de decisão. O que nos parece é que as respostas não deixam de ter uma carga emocional, mas a razão modifica o substrato no qual a emoção vai agir.

Isto significa dizer que um Expert, sujeito com uma sólida formação científica, não deixou de ter uma reação emocional frente ao conhecimento científico. Aquilo que um físico está predisposto a aceitar como representação de mundo mudou, logicamente por causa de sua formação e aprendizagem científica, contudo, essa aprendizagem não apagou a relação emocional que estabelecemos com o conhecimento.

Logo, a ideia de que um cientista é racional e bloqueia suas emoções durante suas tomadas de decisão parece falsa. A reação emocional continua existindo, só que agora a base sobre a qual ela funciona é outra. Um cientista, quando responde a uma questão na qual está em jogo as representações de mundo que ele possui, não está suspendendo o julgamento emocional. A diferença é que a razão moldou a base na qual a emoção vai funcionar.

Pensando nas diferenças entre Novatos e Experts, isto seria como se os indivíduos vivessem em dois diferentes mundos, um científico e outro guiado pelo senso comum. Os testes que revelam as concepções intuitivas trazem questões que se situam nessa interface, visto que podem ser explicadas por representações pertencentes a estes dois mundos.

Os Novatos, sujeitos sem formação sólida em Ciências, habitam justamente esse mundo intuitivo. Entretanto, a emoção participa do processo de escolha dos sujeitos que vivem nestes dois mundos tão distintos. Tanto os Novatos quanto os

Experts possuem vínculos emocionais com suas representações, de modo que a diferença está exatamente no sentimento de entendimento que cada uma fornece.

Ao se pensar em Ensino de Física, quando queremos preparar os estudantes para aprenderem as representações científicas talvez não devamos focar na ideia de que essas abandonem suas respostas emocionais. O importante talvez seja fazer com que ocorra uma mudança nas reações emocionais dos alunos, de modo que elas passem a ser disparadas quando estes contemplam as representações científicas do mundo. O investimento no conflito cognitivo parece ser uma condição necessária, mas não suficiente. É preciso desenvolver estratégias nas quais os alunos possam fazer uma releitura emocional das representações que queremos ensinar.

Temos consciência da ousadia desta interpretação. Entretanto, as evidências empíricas da participação de respostas emocionais na tomada de decisão sobre o uso de representações científicas ou intuitivas de situações e fenômenos físicos parecem avaliar a interpretação que propomos nesta tese. Acreditamos que os resultados obtidos podem ser aprofundados, de modo a fornecer um novo olhar sobre o entendimento da persistência das concepções intuitivas e do papel da emoção na aprendizagem de Ciências.

Ao reunirmos mais evidências, talvez seja possível integrar nossa interpretação a modelos teóricos antigos e bem estabelecidos sobre explicações científicas, de modo a conferir à emoção papel crucial na construção do entendimento científico do mundo. Isso nos leva a ressaltar alguns dos apontamentos futuros desta pesquisa.

Com novos testes, que podem agora ser facilmente realizados, pretendemos dirimir algumas dúvidas, confirmar nossas hipóteses e corroborar nossa interpretação. Um piloto já foi desenhado para reproduzir o experimento aqui apresentado; contudo, agora utilizando Físicos e Matemáticos.

Além disso, já começamos a elaboração de um desenho experimental para adaptar nosso teste para que as respostas emocionais possam ser analisadas por meio de imagens de ressonância magnética, a fim de aprofundar os conhecimentos sobre os processos neuronais envolvidos na relação entre emoção e cognição, ligados ao conhecimento científico.

Por fim, como educador, é preciso ressaltar que a motivação principal, desde o início desta pesquisa, foi tentar entender o papel das emoções na escola e na capacidade que o ser humano tem de aprender, de se conectar e de criar vínculos com o mundo que o cerca. Sendo assim, não seria possível concluir este trabalho sem discutir o que os resultados apresentados podem trazer de reflexão sobre o processo educacional e, talvez, levantar elementos para se repensar a escola.

O texto que abre essa sessão é um pequeno trecho de um conto de Clarice Lispector, “*O ovo e a galinha*”. Talvez o mais enigmáticos de seus escritos. Nele, encontro os mais diversos significados, que aparecem e desaparecem facilmente de acordo com meu estado de espírito. Algumas vezes, parece profundo como um texto filosófico, ou romântico como um belo poema e, em outros momentos, soa como uma grande piada. O interessante, e talvez por isso seja uma obra-prima, é que, todas as vezes que o leio, este texto me toca e algo ressoa cognitiva e emocionalmente em mim. De alguma maneira, possuo um vínculo emocional com este conjunto de palavras, que varia no tempo, seja em intensidade, sentimento ou sentido, mas que sempre esta presente, latente, escondido. Basta a lembrança de uma frase ou a visão de uma foto de Clarice e vem aquela sensação prazerosa, confortante, de quem compartilha uma espécie de encantamento com o conteúdo daquele texto.

Optei por iniciar as conclusões deste trabalho com um texto literário e exponho agora, ao final, a expressão pessoal de minha fruição desta obra. Isto porque adjetivos relacionados à emoção e afetividade, como belo, emocionante, gostoso ou alegre, são fácil e comumente associados à literatura, pintura ou música. Nas escolas, quando se deseja desenvolver nos alunos emoção, criatividade ou sensibilidade recorre-se, tradicionalmente, a estas formas de criações humanas.

Encantamento, paixão ou êxtase parecem ser sentimentos que só podem ser despertados por meio das artes. E a Física? Pode o conhecimento científico trazer uma sensação de conforto? Podem as leis de Newton encantar alguém? Pode uma pessoa, ao ver uma representação científica do mundo, sentir algo prazeroso, aquela sensação confortável, deliciosa, que se tem ao ler um poema de amor ou ao ver um quadro do Monet? Pode alguém ao ver uma representação científica do mundo dar um sorriso

tranquilo, que externiza uma sensação de entendimento que vai além dos seus aspectos cognitivos? Ou seja, pode-se fruir a Ciência? Acreditamos fortemente que sim, e esta pesquisa traz resultados que sugerem a existência de um vínculo emocional com o conhecimento científico.

Nossos resultados trazem evidências psicofisiológicas sobre algo que qualquer cientista ou educador dedicado já conhece em sua prática diária: a emoção como elemento essencial do processo cognitivo. Por exemplo, ao se analisar a biografia de grandes cientistas, é fácil reconhecer aspectos emocionais e afetivos que participaram de seus processos de criação e entendimento científico do mundo. Albert Einstein, em um discurso que fez em homenagem a Max Planck, na sociedade de Física de Berlim, em 1918, deixa claro sua concepção de pesquisa científica revelando que:

*“O estado de espírito que permite a um homem fazer este tipo de trabalho é semelhante ao do fiel em oração ou ao do **amante enamorado**. A atividade diária provém não de uma intenção ou plano deliberado, mas diretamente do coração.*

*O homem tenta elaborar para si mesmo, do modo que melhor lhe pareça, uma descrição simplificada e inteligível do mundo. Depois, tenta até certo ponto substituir o mundo da experiência por esse universo por ele construído, para poder dominar toda a natureza... **Ele faz desse universo e da sua construção o centro de sua vida emocional, para encontrar, assim, a paz e a serenidade que não consegue dentro dos limites a ele impostos pelo turbilhão da experiência pessoal.** O objetivo último a ser atingido é chegar àquelas leis elementares universais a partir das quais o universo foi construído através de pura dedução. **Não há um caminho lógico que conduza até essas leis; apenas a intuição, baseada no conhecimento afetivo da experiência, pode conduzir a elas..”***

Intuição? Afetividade? Estes são termos aparentemente estranhos para se descrever o trabalho científico, contudo, não o são na verdade. Estranho parece ser a

ideia de que elementos emocionais estão extirpados das leituras que a Ciência fornece do mundo. Assim, é possível compreender que muito das objeções de Einstein acerca da Mecânica Quântica tinham um fundo afetivo, no sentido de que a visão de mundo por ela colocada entrava em conflito direto com a sua. E isso não era, de forma alguma, puramente um conflito cognitivo, pois ele compreendia o formalismo, entendia os conceitos (afinal ajudou a criá-la), mas não aceitava as explicações que ela fornecia do universo. Guiado por uma sensação de beleza estética, algo que era tão profundo em seus trabalhos, Einstein passa a buscar uma teoria unificada, que explicasse o mundo de maneira “*bela*”.

Da mesma forma, em uma palestra dada no Impa – Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada – Michael Atiyah, matemático extraordinário, ganhador da Medalha Fields e do Prêmio Abel, fala sobre a beleza ao discutir a Teoria dos Números na Física Quântica: “[...] *se existe uma teoria última do universo, ela certamente é bela, pois a beleza explica e é um dos indícios da verdade. O belo, para os matemáticos, é a intuição da totalidade.*”

Uma frase marcante também ilustra a participação de elementos emocionais nos processos cognitivos de outro fundador da Mecânica Quântica, Werner Heisenberg. No início de sua carreira, ao falar sobre a Teoria da Relatividade, o físico relata: “*Sinto-me meio ludibriado pela lógica implícita nesse arcabouço matemático. Talvez você possa até dizer que aprendi a teoria com o cérebro, mas não ainda com o coração.*”

Estes são poucos exemplos de cientistas expressando os possíveis vínculos emocionais que são estabelecidos com a construção do conhecimento científico. Facilmente, podem-se encontrar inúmeros episódios na história da Ciência nos quais se fica evidente o papel da emoção nos processos cognitivos mais abstratos possíveis.

De maneira semelhante aos mais reconhecidos e famosos cientistas, cada um que trabalha com ciência certamente passou por algum momento no qual uma espécie de “sentimento de entendimento” ocorreu e, o que era, até então, aprendido e sabido passa a fazer sentido e ter sabor. É o momento em que o indivíduo se delicia ao terminar a resolução de um problema matemático complexo ou quando fica alegre ao encontrar a solução para um desenho experimental decisivo. De alguma maneira,

experienciamos “algo” além do processo cognitivo, que encaixa e conecta conteúdos. Vivenciamos “algo” que dá sentido e nos conecta aos conteúdos que aprendemos, mesmo que de maneira incorreta.

A questão central desta pesquisa gira justamente em torno deste “algo”, deste “sentimento de entendimento”. Laços emocionais podem ser estabelecidos com o conhecimento científico e, por isso, o papel das emoções no uso e aquisição deste tipo específico de conhecimento deve ser profundamente investigado.

Ao se pensar em Educação Científica, talvez seja a hora de se considerar o saber como *sabor*, significado presente na origem etimológica do termo *sapere*, mas que se perdeu com o tempo na construção social da Ciência ocidental. Em outras palavras, necessitamos resgatar a possibilidade de se degustar, usufruir, ter prazer com o conhecimento científico.

Acreditamos que a emoção é um elemento fundamental para a aprendizagem da Ciência; porém, não apenas como elemento motivador ou estimulador, forma como tradicionalmente é tratada na Educação Científica. Ela atua como uma espécie de “lastro” que estabiliza as representações de mundo e contribui, de maneira decisiva, para a consolidação dos modelos científicos na mente dos alunos. Seu papel seria de qualificar, balizar o processo de conhecer nas estruturas cognitivas, fazendo com que esse conhecimento seja impregnado de “*sentido*”. O termo “*sentido*”, aqui utilizado, não faz menção à sua conexão com outros conteúdos e relações de natureza dedutiva, próprias da lógica tradicional. Seria o “*sentido*” com o significado de *sentir visceralmente*, uma resposta emocional que surge diante de algo que lhe agrada ou desagrade.

Desta forma, um conteúdo científico deve ser mais do que cognitivamente entendido. É preciso uma parcela de emoção para que ele seja validado e, então, integrado aos modos de pensamento dos estudantes, levando-os a considerar as representações científicas do mundo como algo que faça sentido e, portanto, sejam apreciadas e entendidas.

Ainda que tenhamos obtidos evidências do papel da emoção na aquisição e uso do conhecimento científico, nossa pesquisa trouxe novas perguntas. Por exemplo,

seriam as respostas emocionais mais intensas dos Experts para as representações científicas uma espécie de fruição semelhante àquela que se obtém em outras áreas, tais como nas artes? Seria o fato de alguns sujeitos nunca terem tido a chance de questionar seus modelos de representação de mundo, em uma aula de Física, que os leva a não apresentar diferenças significativas em suas respostas emocionais ao contemplarem alternativas cientificamente corretas e concepções intuitivas? Será que as respostas emocionais, geradas nos novatos, contribuiu de forma determinante para que errassem como se fossem realmente “guiados” por elas? Da mesma forma, como esse processo se dá com os Experts? É possível dizer que, neste teste, o fato de Engenheiros terem uma performance cognitiva idêntica a dos Físicos, porém com padrões de respostas emocionais tão distintos, pode ser um indício de que eles vêem a Física apenas como ferramenta? O que emocionaria um Engenheiro, mas não a um Físico? Será que o mesmo pode ocorrer ao se comparar experts de outros campos da ciência? Estariam os vínculos emocionais sempre relacionados a domínios específicos? E, a pergunta principal: como educadores, como podemos desenvolver estes vínculos em seus alunos?

A busca por respostas a estas perguntas conduz aos possíveis encaminhamentos futuros desta pesquisa. Podem-se começar novos rumos de investigação sobre o papel das concepções intuitivas, bem como avançar o entendimento sobre o porquê de sua persistência.

Além disso, podem-se obter evidências fisiológicas e neuronais que, combinadas com resultados de pesquisas em psicologia cognitiva, possibilitará a construção de modelos de aprendizagem mais complexos, integrando comportamento e o funcionamento do cérebro nos processos de uso e aquisição do conhecimento científico.

Por fim, ressaltamos o fato de estarmos cientes da existência de outras interpretações possíveis de serem feitas a partir dos resultados obtidos nesta tese. No entanto, afirmamos que as interpretações aqui apresentadas são plausíveis e na nossa avaliação muito prováveis, abrindo um novo horizonte de pesquisas que virão a completar as lacunas e incertezas aqui geradas.

Esperamos que esta pesquisa possa ter contribuído para o estabelecimento do diálogo entre Neurociência e Educação, mostrando a necessidade de se conhecer profundamente as perguntas relevantes que surgem na prática diária nas salas de aula, para que se possam elaborar experimentos capazes de fornecer respostas adequadas. Somente por meio de um trabalho colaborativo e interdisciplinar, os resultados provenientes de pesquisas em Neurociência poderão ser usados de forma efetiva para informar educadores e contribuir para suas práticas.

Por fim, esperamos que tenhamos trazido à tona a importância da emoção nos processos cognitivos. Desconsiderá-la como parte essencial da fabricação da Ciência é acreditar que o conhecimento científico não é uma construção humana e, por isso, deve estar impregnada por elementos afetivos e emocionais que nos fazem humanos. Nossa esperança é de que, ao resgatar o papel da emoção na aprendizagem científica, possamos, como educadores, buscar mais do que o entendimento, mas o encantamento pela Ciência.

Bibliografía

- Adolphs, R. Social cognition and the human brain. Trends in Cognitive Sciences, v.3, n.12, p.469-479. 1999.
- _____. Cognitive Neuroscience of Human Social Behaviour. Nature Reviews Neuroscience, v.4, n.3, p.164-178. 2003.
- Adolphs, R., L. Cahill, *et al.* Impaired declarative memory for emotional material following bilateral amygdala damage in humans. Learn. Mem., v.4, p.291-300. 1997.
- Adolphs, R., D. Tranel, *et al.* Dissociable neural systems for recognizing emotions. Brain and cognition, v.52, n.1, p.61-69. 2003.
- Afra, N., I. Osta, *et al.* Students' Alternative Conceptions about Electricity and Effect of Inquiry-Based Teaching Strategies. International Journal of Science and Mathematics Education, v.7, n.1, p.103-132. 2009.
- Albert, E. F. Development of the concept of heat in children. Science Education, v.62, n.3. 1978.
- Alemañ Berenguer, R. A. Errores comunes sobre relatividad entre los profesores de enseñanza secundaria. Enseñanza de las Ciencias, v.15, n.3, p.301-307. 1997.
- Alexander, P. A. Persuasion: Rethinking the nature of change in students' knowledge and beliefs. International Journal of Education, v.35, n.629-631. 2001.
- Alsop, S. Seeking emotional involvement in science education: Food-chains and webs. School science review, v.83, n.302, p.63-68. 2001.
- _____. Bridging the Cartesian divide: science education and affect In: S. Alsop (Ed.). Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science. Dordrecht: Springer, 2005. Bridging the Cartesian divide: science education and affect
- Alsop, S. e M. Watts. Sources from a Somerset village: A model for informal learning about radiation and radioactivity. Science Education, v.81, n.6. 1997.
- _____. Facts and feelings: exploring the affective domain in the learning of physics. Physics Education, v.35, n.2, p.132-138. 2000.
- _____. Science education and affect. International Journal of Science Education, v.25, n.9, p.1043-1047. 2003.

- Anderson, A. e E. A. Phelps. Lesions of the human amygdala impair enhanced perception of emotionally salient events. Nature, v.411, p.305-309. 2001.
- Anderson, B. K., C. . Light and its properties. Goteborgs Universitet Suécia. 1982
- Andrade, M. M. M., A. A. Benedito-Silva, *et al.* Sleep characteristics of adolescents: A longitudinal study. Journal of Adolescent Health, v.14, p.401–406. 1993.
- Andrade, M. M. M. e F. Louzada. Ritmos biológicos en ambientes escolares. . In: D. Golombek (Ed.). Cronobiología humana: Ritmos y relojes biológicos en la salud y en la enfermedad. Buenos Aires, 2002. Ritmos biológicos en ambientes escolares.
- Arabatzis, T. Conceptual Change and Scientific Realism: Facing Kuhn’s Challenge In: S. B. Vosniadou, a; Vamvakoussi, X (Ed.). Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction. Oxford: Elsevier, 2007. Conceptual Change and Scientific Realism: Facing Kuhn’s Challenge
- Astolfi, J., M. Develay, *et al.* A didática das ciências: Papirus. 2005
- Bachelard, G. A formação do Espírito Científico, contribuição para uma psicanálise do conhecimento. São Paulo: Contraponto. 1996
- Baillo, M. e M. Carretero. Desarrollo del pensamiento y cambio conceptual en la comprensión de la flotación. Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales. Buenos Aires: Aique Grupo Editor SA, p.77-106. 1996.
- Baltas, A. The Philosophical Foundations of the Conceptual Change Approach: An Introduction. In: S. B. Vosniadou, A.; Vamvakoussi, X. (Ed.). Re-framing the Conceptual Change Approach in learning and instruction. Oxford: Elsevier, 2007. The Philosophical Foundations of the Conceptual Change Approach: An Introduction
- Bar-on, R., D. Tranel, *et al.* Exploring the neurological substrate of emotional and social intelligence. Brain, v.126, n.8, p.1790. 2003.
- _____. Emotional and social intelligence. Social neuroscience: key readings, p.223. 2004.
- Bastos, F. Construtivismo e ensino de ciências. São Paulo: Escrituras. 1998 (Questões atuais no ensino de ciências.)

- Baumgartner, T., M. Esslen, *et al.* From emotion perception to emotion experience: Emotions evoked by pictures and classical music. International Journal of Psychophysiology, v.60, n.1, p.34-43. 2006.
- Bechara, A., A. R. Damasio, *et al.* Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. Cognition, v.50, p.7-15. 1994.
- Bechara, A., H. Damasio, *et al.* Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. Cerebral cortex, v.10, n.3, p.295-307. 2000.
- _____. Role of the amygdala in decision-making. Annals of the New York Academy of Sciences, v.985, n.1 THE AMYGDALA IN BRAIN FUNCTION Basic and Clinical Approaches, p.356-369. 2003.
- _____. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. Journal of Neuroscience, v.19, n.13, p.5473-5481. 1999.
- _____. Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. Cereb Cortex, v.10, n.3, Mar, p.295-307. 2000.
- _____. Different contributions of the human amygdala and ventromedial prefrontal cortex to decision-making. J Neurosci, v.19, n.13, Jul 1, p.5473-81. 1999.
- _____. Dissociation of working memory from decision making within the human prefrontal cortex. Journal of Neuroscience, v.18, n.1, p.428-437. 1998.
- _____. Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. Science, v.275, n.5304, p.1293. 1997.
- _____. The Iowa Gambling Task and the somatic marker hypothesis: some questions and answers. Trends in Cognitive Sciences, v.9, n.4, p.159-162. 2005.
- Bechara, A., D. Tranel, *et al.* The somatic marker hypothesis and decision-making. Handbook of neuropsychology, v.7, p.117-144. 2002.
- Bechara, A. T., D.; Damasio, H.; Damasio, A. R. Failure to respond autonomically to anticipated future outcomes following damage to prefrontal cortex. Cereb Cortex, v.6, n.2, Mar-Apr, p.215-25. 1996.
- Bengtsson, S., Z. Nagy, *et al.* Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. Nature Neuroscience, v.8, n.9, p.1148-1150. 2005.

- Blakemore, S. e U. Frith. The learning brain: Lessons for education: Blackwell Publishing. 2005
- Blanchette, I. e K. Dunbar. How analogies are generated: The roles of structural and superficial similarity. Memory and Cognition, v.28, n.1, p.108-124. 2000.
- Bless, H. The Interplay of Affect and Cognition. In: J. P. Forgas (Ed.). Feeling and thinking: The role of affect in social cognition: Cambridge University Press 2001. The Interplay of Affect and Cognition, p.201
- Bolte, A., T. Goschke, *et al.* Emotion and intuition. Effects of positive and negative mood on implicit judgments of semantic coherence. Psychological Science, v.14, n.5, p.416-421. 2003.
- Bonney, C. R., T. M. Kempler, *et al.* Student Learning in Science classrooms: what role does motivation play? Beyond Cartesian Dualism: Encountering Affect in the Teaching and Learning of Science, v.29, p.83–97. 2005.
- Boucsein, W. Electrodermal activity: Plenum Pub Corp. 1992
- Bousfield, W. A. The relationship between mood and the production of affectively toned associates. Journal of Psychology, v.42, p.67-85. 1950.
- Bower, G. Mood and memory. American Psychologist, v.36, n.2, p.129-148. 1981.
- Bower, G. e J. Forgas. Mood and social memory. The handbook of affect and social cognition, p.95–120. 2001.
- Boyle, R. Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice. 2002
- Brewer, W. F. Scientific theories and naive theories as forms of mental representation: Psychologism revived. Science & Education, v.8, n.5, p.489-505. 1999.
- Brewer, W. F. e C. A. Chinn. Scientists' responses to anomalous data: Evidence from psychology, history, and philosophy of science: JSTOR, 1994. 304-313 p.
- Brewer, W. F., C. A. Chinn, *et al.* Explanation in scientists and children. Minds and Machines, v.8, n.1, p.119-136. 1998.
- Bruer, J. Education and the brain: A bridge too far. Educational researcher, v.26, n.8, p.4. 1997.
- _____. Avoiding the pediatrician's error: how neuroscientists can help educators (and themselves). Nature Neuroscience, v.5, n.supp, p.1031-1033. 2002.

- _____. Points of View: On the Implications of Neuroscience Research for Science Teaching and Learning: Are There Any?: A Skeptical Theme and Variations: The Primacy of Psychology in the Science of Learning. Life Sciences Education, v.5, n.2, p.104. 2006.
- Buchanan, T. e D. Tranel. Stress and emotional memory retrieval: effects of sex and cortisol response. Neurobiology of learning and memory, v.89, n.2, p.134-141. 2008.
- Cacioppo, J. T., G. G. Berntson, *et al.* The psychophysiology of emotion. Handbook of emotions, p.119-142. 1993.
- Cahill, L., R. Babinsky, *et al.* The amygdala and emotional memory. Nature, v.377, p.295-296. 1995.
- Camargo, E. Um estudo das concepções alternativas sobre repouso e movimento de pessoas cegas. Bauru: UNESP-Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências. 2000.
- Caravita, S. e O. Halldén. Re-framing the problem of conceptual change. Learning and Instruction, v.4, n.1, p.89-111. 1994.
- Carey, S. Conceptual change in childhood. Cambridge: MIT Press. 1985
- Castro-Caldas, A., K. Petersson, *et al.* The illiterate brain. Learning to read and write during childhood influences the functional organization of the adult brain. Brain, v.121, n.6, p.1053. 1998.
- Chalmers, A. A fabricação da ciência. São Paulo: Editora da UNESP. 1994
- Chalmers, A. e R. Fiker. O que é ciência afinal. São Paulo: Brasiliense. 1993. 17-63 p.
- Champagne, A., R. Gunstone, *et al.* Cognitive structure and conceptual change: Academic Press New York. 1985
- Chan, C., J. Burtis, *et al.* Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. Cognition and Instruction, p.1-40. 1997.
- Changeux, J. e P. Ricoeur. What makes us think?: a neuroscientist and a philosopher argue about ethics, human nature, and the brain: Princeton University Press. 2000

- Chatelet, F. História da Razão: Uma entrevistas com Émile Noel. Rio de Janeiro: Jorge Zahar. 1994
- Chi, M., P. Feltovich, *et al.* Representation of physics knowledge by experts and novices. 1980.
- _____. Categorization and representation of physics problems by experts and novices*. Cognitive science, v.5, n.2, p.121-152. 1981.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science education. Review of Educational Research, v.63, n.1, p.1-49. 1993.
- Chinn, C. A. e W. F. Brewer. Factors that influence how people respond to anomalous data. Proceedings 0/the, p.318-323. 1993a.
- _____. The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. Review of educational research, v.63, n.1, p.1. 1993b.
- Christie, I. e B. Friedman. Autonomic specificity of discrete emotion and dimensions of affective space: A multivariate approach. International Journal of Psychophysiology, v.51, n.2, p.143-153. 2004.
- Christie, M. Electrodermal activity in the 1980s: a review. Journal of the Royal Society of Medicine, v.74, n.8, p.616. 1981.
- Clore, G., N. Schwarz, *et al.* Affective causes and consequences of social information processing. In: R. S. Wyer e T. K. Srull (Ed.). Handbook of social cognition: Basic processes: Lawrence Erlbaum, 1994. Affective causes and consequences of social information processing, p.323-417
- Codispoti, M., M. M. Bradley, *et al.* Affective reactions to briefly presented pictures. Psychophysiology, v.38, n.03, p.474-478. 2001.
- Critchley, H. Electrodermal responses: what happens in the brain. The Neuroscientist, v.8, n.2, p.132. 2002.
- Crone, E., R. Somsen, *et al.* Heart rate and skin conductance analysis of antecedents and consequences of decision making. Psychophysiology, v.41, n.4, p.531-540. 2004.
- Custódio, J. F. Explicando Explicações na Educação Científica: Domínio Cognitivo, Status Afetivo e Sentimento de Entendimento. UFSC, Florianópolis, 2007.

- Custódio, J. F. e M. Pietrocola. Princípios de conservação e construção de modelos por estudantes do ensino médio VIII EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física). Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Física 2002.
- Dalgleish, T. The emotional brain. Nature Reviews Neuroscience, v.5, n.7, p.583-589. 2004.
- Damasio, A. Descartes'error: Emotion, reason and the human brain. New York: Putnam, v.352. 1994.
- _____. On Some Functions of the Human Prefrontal Cortex a. Annals of the New York Academy of Sciences, v.769, n.1 Structure and Functions of the Human Prefrontal Cortex, p.241-252. 1995.
- _____. A Second Chance for Emotion: Oxford University Press. 2000 (Cognitive neuroscience of emotion)
- _____. Emotion and the Human Brain. Annals of the New York Academy of Sciences, v.935, p.101-106. 2001.
- Damasio, A., B. Everitt, *et al.* The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Functions of the Prefrontal Cortex [and Discussion]. Philosophical Transactions: Biological Sciences, p.1413-1420. 1996.
- Damasio, A. e H. Moss. Emotion, Cognition, and the Human Brain. Unity of Knowledge: The Convergence of Natural and Human Science. New York: Annals of the NY Academy of Sciences. 2001.
- Damasio, A., D. Tranel, *et al.* Individuals with sociopathic behavior caused by frontal damage fail to respond autonomically to social stimuli. Behavioural brain research, v.41, n.2, p.81-94. 1990.
- _____. Somatic markers and the guidance of behavior. Human Emotions: A Reader, p.122. 1998.
- Damasio, A. R. Descartes'error: Emotion, reason and the human brain. New York: Putnam, v.352. 1994.
- _____. The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, v.351, p.1413-1420. 1996.
- Damasio, H., T. Grabowski, *et al.* The return of Phineas Gage: clues about the brain from the skull of a famous patient. Science, v.264, n.5162, p.1102. 1994.

- Darwin, C. The Expression of the Emotions in Man and Animals. Chicago Univ. Press, p.120-90. 1965.
- Davidson, R. J. Handbook of Emotions: 143-154 p. 1993.
- Davidson, R. J., D. Pizzagalli, *et al.* Handbook of affective sciences: Nature Publishing Group: 8-24 p. 2003.
- Dehaene, S. The number sense: How the mind creates mathematics: Oxford University Press, USA. 1999
- Dehaene, S., M. Kerszberg, *et al.* A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks: National Acad Sciences. 95: 14529-14534 p. 1998.
- Dehaene, S., F. Pegado, *et al.* How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language. Science, v.330, n.6009, p.1359. 2010.
- Dehaene, S., M. Piazza, *et al.* Three parietal circuits for number processing. Cogn. Neuropsychol., v.20, p.487-506. 2003.
- Dehaene, S., E. Spelke, *et al.* Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. Science, v.284, n.5416, p.970. 1999.
- Dehaene-Lambertz, G., L. Hertz-Pannier, *et al.* How Does Early Brain Organization Promote Language Acquisition in Humans? European Review, v.16, n.04, p.399-411. 2008.
- Disessa, A. A. Why “Conceptual Ecology” is a good idea. In: M. M. Limón, L (Ed.). Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice. Nova York: Kluwer Academic Publishers, 2002. Why “Conceptual Ecology” is a good idea
- Dolan, R. Emotion, cognition, and behavior. Science, v.298, p.1191-1194. 2003.
- Draganski, B., C. Gaser, *et al.* Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. Nature, v.427, n.6972, p.311-312. 2004.
- Dreyfus, A., E. Jungwirth, *et al.* Applying the “cognitive conflict” strategy for conceptual change – some implications, difficulties, and problems. Science Education, v.74, n.5, p.555–569. 1990.
- Driver, R. e J. Easley. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. Studies in Science Education. 1978.

Duffy, J. e K. Wright Jr. Entrainment of the human circadian system by light. Journal of biological rhythms, v.20, n.4, p.326. 2005.

Dunbar, K. Concept discovery in a scientific domain*. Cognitive science, v.17, n.3, p.397-434. 1993.

_____. How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. The nature of insight, p.365ñ395. 1995.

_____. How scientists think: On-line creativity and conceptual change in science. Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes, p.461ñ493. 1997.

_____. The analogical paradox: Why analogy is so easy in naturalistic settings yet so difficult in the psychological laboratory. The analogical mind: Perspectives from cognitive science, p.313ñ334. 2001.

Dunbar, K., J. Fugelsang, *et al.* Do naïve theories ever go away? Using brain and behavior to understand changes in concepts. Thinking With Data, p.193. 2007.

Dykstra Jr., D., C. Boyle, *et al.* Studying conceptual change in learning physics. Science education, v.76, n.6. 1992.

Ednie, K. Emotions and Life: Perspectives for Psychology, Biology, and Evolution. American Journal of Psychiatry, v.162, n.2, p.409. 2005.

Education, C. D. O. California High School Exit Examination.
<http://www.cde.ca.gov/ta/tg/hs/documents/math08rtq.pdf>. 2009.

Eich, E. e D. Macaulay. Fundamental Factors in Mood-Dependent Memory. In: J. P. Forgas (Ed.). Feeling and thinking: The role of affect in social cognition: Cambridge University Press, 2001. Fundamental Factors in Mood-Dependent Memory, p.109

Ekman, P. Darwin and Facial Expression: a Century of Research in Review 1973.

_____. Emotions revealed: Recognizing faces and feelings to improve communication and emotional life: Owl Books. 2007

Ekman, P., R. Levenson, *et al.* Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions. Science, v.221, n.4616, p.1208-1210. 1983.

- Ellis, H. e B. Moore. Mood and memory. Handbook of cognition and emotion, p.193-210. 1999.
- Erickson, G. L. Children's viewpoints of heat: a second look. Science Education, v.64, n.3. 1980.
- Eylon, B. e M. Linn. Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. Review of Educational research, p.251-301. 1988.
- Fellows, L. e M. Farah. Ventromedial frontal cortex mediates affective shifting in humans: evidence from a reversal learning paradigm. Brain, v.126, n.8, p.1830. 2003.
- _____. Different underlying impairments in decision-making following ventromedial and dorsolateral frontal lobe damage in humans. Cerebral Cortex, v.15, n.1, p.58. 2005.
- _____. The role of ventromedial prefrontal cortex in decision making: judgment under uncertainty or judgment per se? Cerebral Cortex. 2007.
- Fiedler, K. Affective states trigger processes of assimilation and accommodation. In: L. L. Martin e G. L. Clore (Ed.). Theories of mood and cognition: a users handbook: Lawrence Erlbaum Associates, 2001. Affective states trigger processes of assimilation and accommodation
- Fitch, W. The evolution of speech: a comparative review. Trends in Cognitive Sciences, v.4, n.7, p.258-266. 2000.
- Forgas, J. Mood and the perception of unusual people: Affective asymmetry in memory and social judgments. European Journal of Social Psychology, v.22, n.6. 1992a.
- _____. Affect in social judgments and decisions: A multi-process model. Advances in Experimental Social Psychology: Volume 25, p.227. 1992b.
- Fourez, G. A construção das ciências. São Paulo: UNESP. 1995
- Fugelsang, J. A. e K. N. Dunbar. Brain-based mechanisms underlying complex causal thinking. Neuropsychologia, v.43, n.8, p.1204-1213. 2005.
- Fugelsang, J. A., M. E. Roser, *et al.* Brain mechanisms underlying perceptual causality. Cognitive brain research, v.24, n.1, p.41-47. 2005.

- Fukui, H., T. Murai, *et al.* Functional activity related to risk anticipation during performance of the Iowa Gambling Task. Neuroimage, v.24, n.1, p.253-259. 2005.
- _____. The neural basis of social tactics: An fMRI study. Neuroimage, v.32, n.2, p.913-920. 2006.
- Gazzaniga, M. The new cognitive neurosciences: MIT press. 2000
- Gazzaniga, M., R. Ivry, *et al.* Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind: WW Norton & Company 2002.
- _____. Cognitive neuroscience. 2007.
- Gazzaniga, M. S. The Cognitive Neurosciences MIT Press. 2004
- Gentner, D. e A. Stevens. Mental models: Lawrence Erlbaum. 1983
- Gil-Pèrez, D., J. Alís, *et al.* ¿ Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, v.17, n.3. 1999.
- Gisiger, T., M. Kerszberg, *et al.* Acquisition and performance of delayed-response tasks: a neural network model. Cereb Cortex, v.15, n.5, May, p.489-506. 2005.
- Gönen, S. A Study on Student Teachers' Misconceptions and Scientifically Acceptable Conceptions About Mass and Gravity. Journal of Science Education and Technology, v.17, n.1, p.70-81. 2008.
- Goswami, U. Neuroscience and education. British Journal of Educational Psychology, v.74, n.1, p.1-14. 2004.
- _____. Neuroscience and education: from research to practice? 2006.
- Goswami, U. e P. Bryant. Children's Cognitive Development and Learning. 2007.
- Grewe, O., F. Nagel, *et al.* Emotions over time: Synchronicity and development of subjective, physiological, and facial affective reactions to music. Emotion, v.7, n.4, p.774-788. 2007.
- Guesne, E. Lumière et vision des objets: un exemple de représentation de phénomènes physiques préexistant à l'enseignement. In: G. Delacote (Ed.). Physics teaching in schools. Londres: Taylor and Francis, 1978. Lumière et

vision des objets: un exemple de representation de phénomènes physiques préexistant à l'enseignement

Guzzetti, B. Learning counter-intuitive science concepts: What have we learned from over a decade of research? Reading & Writing Quarterly, v.16, n.2, p.89-98. 2000.

Guzzetti, B., T. Snyder, *et al.* Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. Reading Research Quarterly, p.117-159. 1993.

Guzzetti, B., W. Williams, *et al.* Influence of text structure on learning counterintuitive physics concepts. Journal of Research in Science Teaching, v.34, n.7. 1997.

Hagemann, D., S. Waldstein, *et al.* Central and autonomic nervous system integration in emotion. Brain and Cognition, v.52, n.1, p.79-87. 2003.

Hallouna, I. e D. Hestenes. Common sense concepts about motion. Am. J. Phys, v.53, p.11. 1985.

Hatano, G. e K. Inagaki. Domain-specific constraints of conceptual development. International Journal of Behavioral Development, v.24, n.3, p.267-275. 2000.

Heim, S., C. Eulitz, *et al.* Altered hemispheric asymmetry of auditory N100m in adults with developmental dyslexia. Neuroreport, v.14, n.3, p.501. 2003.

Hestenes, D. e M. Wells. A mechanics baseline test. The physics teacher, v.30, n.3, p.141-158. 1992.

Hestenes, D., M. Wells, *et al.* Force concept inventory. The physics teacher, v.30, n.3, p.141-158. 1992.

Hewson, P. e M. Hewson. The status of students' conceptions. In: F. G. R. Duit, & H. Niedderer (Ed.). Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Kiel: Institute for Science Education at the University of Kiel, 1992. The status of students' conceptions, p.59-73

Hoehn, T., S. Braune, *et al.* Physiological, biochemical and subjective parameters in anxiety patients with panic disorder during stress exposure as compared with healthy controls. European archives of psychiatry and clinical neuroscience, v.247, n.5, p.264-274. 1997.

- Immordino-Yang, M. e A. Damasio. We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. Mind, Brain, and Education, v.1, n.1, p.3-10. 2007.
- Ivarsson, J. S., J.; Saljö, R. Map Reading Versus Mind Reading. In: M. M. Limón, L (Ed.). Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice. Nova York: Kluwer Academic Publishers, 2002. Map Reading Versus Mind Reading
- Izard, C., J. Kagan, *et al.* Emotions, cognition, and behavior: Cambridge University Press New York. 1984
- Izard, V. e S. Dehaene. Calibrating the mental number line. Cognition, v.106, n.3, p.1221-1247. 2008.
- Jacobs, S., R. Friedman, *et al.* Use of skin conductance changes during mental stress testing as an index of autonomic arousal in cardiovascular research* 1. American Heart Journal, v.128, n.6, p.1170-1177. 1994.
- James, W. What is an emotion? Mind 9, p.188–205. 1884.
- Jensen, E. A fresh look at brain-based education. Phi Delta Kappan, v.89, n.6, p.408-417. 2008.
- Jensen, E., A. F. Supervision, *et al.* Teaching with the brain in mind: Association for Supervision and Curriculum Development Alexandria, Va. 1998
- Kandel, E. R. S., J.H; Jessell, T.M. Principles of Neural Science. New York: McGraw-Hill. 2000
- Kang, S. S., L. C.; Taehee, N. Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Concept Learning. Research in Science Education, v.34, p.71-96. 2004.
- Kelly, G. J., & Green, J. . The social nature of knowing: Toward a sociocultural perspective on conceptual change and knowledge construction. . In: B. G. C. Hynd (Ed.). Perspectives on conceptual change. Multiple ways to understand knowing and learning in a complex world Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1998. The social nature of knowing: Toward a sociocultural perspective on conceptual change and knowledge construction.
- Kensinger, E. e D. Schacter. Memory and emotion. The handbook of emotion, p.601-617. 2008.
- Khalifa, S., P. Isabelle, *et al.* Event-related skin conductance responses to musical emotions in humans. Neuroscience letters, v.328, n.2, p.145-149. 2002.

- Klahr, D. e K. Dunbar. Dual space search during scientific reasoning. Cognitive science, v.12, n.1, p.1-48. 1988.
- Klahr, D., A. L. Fay, *et al.* Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. Cognitive Psychology, v.25, p.111-111. 1993.
- Laan, E., W. Everaerd, *et al.* Women's sexual and emotional responses to male-and female-produced erotica. Archives of Sexual Behavior, v.23, n.2, p.153-169. 1994.
- Lahiri, N. e J. Duncan. The Mozart effect: encore. Epilepsy & Behavior, v.11, n.1, p.152-153. 2007.
- Lang, P. J., M. K. Greenwald, *et al.* Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. Psychophysiology, v.30, n.3, p.261-273. 1993.
- Larkin, J. The Role of Problem Representation in Physics. Mental models, p.75. 1983.
- Larkin, J., J. Mcdermott, *et al.* Expert and novice performance in solving physics problems. Science, v.208, n.4450, p.1335-1342. 1980.
- Lasry, N. Clickers or Flashcards: Is there really a difference? The physics teacher, v.46, p.242. 2008.
- Lasry, N. e M. Aulls. The effect of multiple internal representations on context-rich instruction. American Journal of Physics, v.75, p.1030. 2007.
- Lasry, N., N. Finkelstein, *et al.* Are most people too dumb for physics? The physics teacher, v.47, p.418. 2009.
- Lasry, N., E. Mazur, *et al.* Peer instruction: From Harvard to the two-year college. American Journal of Physics, v.76, p.1066. 2008.
- Laukenmann, M. An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. International Journal of Science Education, v.25, n.4, p.489 - 507. 2003.
- Ledoux, J. E. The Emotional Brain 1992.
- _____. Handbook of Emotions: 109-118 p. 1993.
- _____. Emotion: clues from the brain. Annu. Rev. Psychol., v.46, p.209-235. 1995.

_____. The emotional brain: Nature Publishing Group 1996.

_____. The emotional brain, fear, and the amygdala. Cell. Mol. Neurobiol., v.23, p.727–738. 2003.

Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., Scholte, R. L. J. . Pupils'and mass-media ideas about radioactivity. International Journal of Science Education, London, v.12, n.1, p.67-78. 1990.

Limón, M. e M. Carretero. Conceptual change and anomalous data: A case study in the domain of natural sciences. European journal of psychology of education, v.12, n.2, p.213-230. 1997.

Limón, M. M., L. Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice: Kluwer Academic Publishers. 2002

Linnenbrink, E. A. e P. R. Pintrich. The role of motivational beliefs in conceptual change. In: M. M. Limón, L (Ed.). Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice. Nova York: Kluwer Academic Publishers, 2002. The role of motivational beliefs in conceptual change, p.135

Lown, B. e R. Desilva. Roles of psychologic stress and autonomic nervous system changes in provocation of ventricular premature complexes. The American Journal of Cardiology, v.41, n.6, p.979-985. 1978.

Luna, B., K. Thulborn, *et al.* Maturation of widely distributed brain function subserves cognitive development. Neuroimage, v.13, n.5, p.786-793. 2001.

Machamer, P. Kuhn's Philosophical Successes? In: S. B. Vosniadou, a; Vamvakoussi, X (Ed.). Re-framing the Conceptual Change Approach in learning and instruction. Oxford: Elsevier, 2007. Kuhn's Philosophical Successes?

Matthews, M. R. Constructivism and empiricism: an incomplete divorce. . Review of Educational Research, v. 22, n.299-307. 1992.

_____. Constructivism and Science Education: Some Epistemological Problems. Journal of Science Education and Technology v.2, n.1, p.359–370. 1993.

Mazur, E. e M. Somers. Peer instruction: A user's manual. American Journal of Physics, v.67, p.359. 1999.

Menna-Barreto, L. e D. Wey. Time Constraints in the School Environment: What Does a Sleepy Student Tell Us? Mind, Brain, and Education, v.2, n.1, p.24-28. 2008.

- Monterosso, J., G. Ainslie, *et al.* Frontoparietal cortical activity of methamphetamine-dependent and comparison subjects performing a delay discounting task. Human brain mapping, v.28, n.5, p.383-393. 2007.
- Monterosso, J., R. Ehrman, *et al.* Three decision-making tasks in cocaine-dependent patients: do they measure the same construct? Addiction, v.96, n.12, p.1825-1837. 2001.
- Mortimer, E. Conceptual change or conceptual profile change? Science & Education, v.4, n.3, p.267-285. 1995.
- _____. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? Investigações em Ensino de Ciências, v.1, n.1, p.20 - 39. 1996.
- Mota, L. M. As controvérsias sobre a interpretação da mecânica quântica e a formação dos licenciados em física. Faculdade de Educação, UFSC, Florianópolis, 2000.
- Nagai, Y., H. Critchley, *et al.* Activity in ventromedial prefrontal cortex covaries with sympathetic skin conductance level: a physiological account of a. Neuroimage, v.22, n.1, p.243-251. 2004.
- Naqvi, N. e A. Bechara. C Skin Conductance: A Psychophysiological Approach to the Study of Decision Making. Methods in mind, p.103. 2006a.
- _____. Skin Conductance: A Psychophysiological Approach to the Study of Decision Making. Methods in mind, p.103. 2006b.
- Niedderer, H., Goldberg, F. & Duit, R. . Towards Learning Process Studies: A review of the Workshop on Research in Physics Learning. In: F. G. A. H. N. R. Duit (Ed.). Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies.: Kiel, 1991. Towards Learning Process Studies: A review of the Workshop on Research in Physics Learning., p.10-28
- Niedenthal, P. e S. Kitayama. The heart's eye: Emotional influences in perception and attention: Academic Pr. 1994
- Nishida, M., J. Pearsall, *et al.* REM sleep, prefrontal theta, and the consolidation of human emotional memory. Cerebral Cortex, v.19, n.5, p.1158. 2009.
- Odec. Understanding the Brain: the Birth of a Learning Science. 2007.
- Osborne, J. Beyond Constructivism. The proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. New York, 1993. p.

Othman, J., D. Treagust, *et al.* An Investigation into the Relationship between Students' Conceptions of the Particulate Nature of Matter and their Understanding of Chemical Bonding. International Journal of Science Education, v.99999, n.1, p.1-20. 2007.

Pallier, C., S. Dehaene, *et al.* Brain imaging of language plasticity in adopted adults: Can a second language replace the first? Cerebral cortex, v.13, n.2, p.155-161. 2003.

Paty, M. Inteligibilidade racional e historicidade. Estudos Avançados, v.19, p.369-390. 2005a.

_____. A Ciência como Conhecimento em Movimento. Anais do III Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência. Curitiba, 2005c. 2005b.

_____. A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica. Anais do III Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência. Curitiba, 2005b. 2005c.

Paulo, I. J. C. Elementos para uma proposta de inserção de tópicos de física moderna no ensino de nível médio., UFMT, 1997, Cuiabá, 1997.

Peduzzi, L., Loq, A. Zylbersztajn, *et al.* As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da relação força e movimento. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.14, n.4, p.239-246. 1992.

Peduzzi, L. e S. Peduzzi. O conceito de força no movimento e as duas primeiras leis de Newton. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.2, n.1, p.6-15. 1985.

Pfundt, H. D., R. Bibliography - Student's Alternative Frameworks and Science Education. Kiel: IPN. 1992

Pietrocola, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. Florianópolis: Editora da UFSC. 2001 (Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora.)

Pietrocola, M. e T. F. Pinheiro. Modelos e afetividade. VII EPEF - Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Física 2000.

- Pinheiro, T. F. Sentimento de realidade, afetividade e cognição no ensino de ciências. UFSC, Florianópolis, 2003.
- Pintrich, P. R., R. W. Marx, *et al.* Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. Review of Educational research, v.63, n.2, p.167-199. 1993.
- Plutchik, R. Emotion, a psychoevolutionary synthesis: Harpercollins College Div. 1980
- Plutchik, R. e R. Plutchik. Emotions and life: Perspectives from psychology, biology, and evolution: American Psychological Association Washington, DC. 2002
- Posner, G., K. Strike, *et al.* Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science education, v.66, n.2, p.211-227. 1982.
- Posner, M. e S. Dehaene. Attentional networks. Trends in neurosciences, v.17, n.2, p.75-79. 1994.
- Posner, M. e M. Rothbart. Influencing brain networks: implications for education. Trends in Cognitive Sciences, v.9, n.3, p.99-103. 2005.
- Ramachandran, V. e W. Hirstein. The science of art: A neurological theory of aesthetic experience. Journal of Consciousness Studies, 6, v.6, n.7, p.15-51. 1999.
- Reale, G. A., D. História da Filosofia São Paulo: Paulus, v.2, 3 e 4. 2004
- Rhöneck, C. V. Students' conceptions about the electric circuit before physics instruction. International Workshop on Problems Concerning Student's Representatuon of Physics and Chemistry Knowledge. Ludwigsburg: Pädagogische Hochschule, 1981. p.
- Rivera, S., A. Reiss, *et al.* Developmental changes in mental arithmetic: evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. Cerebral Cortex, v.15, n.11, p.1779. 2005.
- Roder, B. e H. Neville. Developmental functional plasticity. Handbook of neuropsychology, v.9, p.231-270. 2003.
- Röder, B., F. Rösler, *et al.* Event-related potentials during auditory language processing in congenitally blind and sighted people. Neuropsychologia, v.38, n.11, p.1482-1502. 2000.
- Roussos, P., S. Giakoumaki, *et al.* Planning, decision-making and the COMT rs4818 polymorphism in healthy males. Neuropsychologia, v.46, n.2, p.757-763. 2008.

- Säljö, R. Minding action. Conceiving of the world versus participating in cultural practices. Nordisk Pedagogik, v.2, p.71-80. 1994.
- Saver, J. e A. Damasio. Preserved access and processing of social knowledge in a patient with acquired sociopathy due to ventromedial frontal damage. Neuropsychologia, v.29, n.12, p.1241-1249. 1991.
- Schwarz, N. e H. Bless. Happy and mindless, but sad and smart? The impact of affective states on analytic reasoning. Emotion and social judgments, p.55-71. 1991.
- Schwarz, N., H. Bless, *et al.* Mood and persuasion: Affective states influence the processing of persuasive communications. Advances in experimental social psychology, v.24, p.161-199. 1991.
- Shaywitz, B., S. Shaywitz, *et al.* Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. Biological Psychiatry, v.52, n.2, p.101-110. 2002.
- Simpson, R. D., T. R. Koballa, *et al.* Research on the affective dimension of science learning. In: D. L. Gabel (Ed.). Handbook of research on science teaching and learning. New York: Macmillan Publishing Company, 1994. Research on the affective dimension of science learning.
- Sinatra, G. Intentional conceptual change: Lawrence Erlbaum. 2003
- Sinatra, G. e J. Dole. Case studies in conceptual change: A social psychological perspective. In: C. H. B. Guzzeti (Ed.). Perspectives on conceptual change: Multiple ways to understand knowing and learning in a complex world Mahwah: Erlbaum, 1998. Case studies in conceptual change: A social psychological perspective
- Sinatra, G. e P. Pintrich. Intentional conceptual change. Mahwah: Erlbaum Associates, Inc. 2003
- Smith, J., A. Disessa, *et al.* Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. Journal of the Learning Sciences, v.3, n.2, p.115-163. 1994.
- Solbes, J., Calatayud, M. L., Climent, J. B., Navarro, J. . Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. . Enseñanza de las Ciencias, v.5, n.3, p.189-195. 1987.

- Solomon, J. The Rise and Fall of Constructivism. Studies in Science Education, v.23, p.1-19. 1994.
- Spada, H. Conceptual change or multiple representations? Learning and Instruction, v.4, n.1, p.113-116. 1994.
- St Jacques, P., F. Dolcos, *et al.* Effects of Aging on Functional Connectivity of the Amygdala for Subsequent Memory of Negative Pictures. Psychological Science, v.20, n.1, p.74. 2009.
- Stead, B. O., R. Exploring science students' concepts of light. Austriac Science Teaching Journal, v.26. 1980.
- Stemmler, G. The autonomic differentiation of emotions revisited: Convergent and discriminant validation. Psychophysiology, v.26, n.6, p.617-632. 1989.
- Strike, K. e G. Posner. A revisionist theory of conceptual change. Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice, p.147-176. 1992.
- Suchting, W. A. Constructivism desconstructed. Science & Education, v.1, n.3, p.223-254. 1992.
- Szucs, D. e U. Goswami. Educational neuroscience: Defining a new discipline for the study of mental representations. Mind, Brain, and Education, v.1, n.3, p.114-127. 2007.
- Taber, K. Beyond constructivism: The progressive research programme into learning science. Studies in Science Education, v.42, n.1, p.125-184. 2006.
- Teixeira, F. M. S. e E. Mortimer. How emotions shape the relationship between a chemistry teacher and her high school students. International Journal of Science Education, v.25, n.9, p.1095 - 1110. 2003.
- Temple, E. e M. I. Posner. Brain mechanisms of quantity are similar in 5-year-old children and adults. Proc. Natl Acad. Sci. USA, v.95, p.7836-7841. 1998.
- Thagard, P. Concepts and conceptual change. In: J. H. Fetzer (Ed.). Epistemology and cognition. Dordrecht: Kluwer, 1991. Concepts and conceptual change
- _____. The structure of conceptual revolutions. Cambridge: MIT PRESS. 1992
- _____. The passionate scientist: Emotion in scientific cognition. The cognitive basis of science, p.235-250. 2002.

- _____. Mind: introduction to cognitive science: MIT Press. 2005
- Thong, W. e R. Gunstone. Some Student Conceptions of Electromagnetic Induction. Research in Science Education, v.38, n.1, p.31-44. 2008.
- Tiberghien, A. D., G. Resultats préliminaires sur la conception de la chaleur chez les enfants de 10 12 ans. In: G. Delacote (Ed.). Physics teaching in schools. Londres: Taylor and Francis, 1978. Resultats préliminaires sur la conception de la chaleur chez les enfants de 10 12 ans
- Tillema, H. e W. Knol. Promoting student teacher learning through conceptual change or direct instruction. Teaching and Teacher Education, v.13, n.6, p.579-595. 1997.
- Trout, J. Measuring the intentional world: Realism, naturalism, and quantitative methods in the behavioral sciences: Oxford University Press, USA. 1998
- _____. Scientific explanation and the sense of understanding. Philosophy of Science, v.69, n.2, p.212-233. 2002.
- _____. The psychology of scientific explanation. Philosophy Compass, v.2, n.3, p.564-591. 2007.
- Tyson, L., G. Venville, *et al.* A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. Science education, v.81, n.4. 1997.
- Van Fraassen, B. The empirical stance: Yale University Press. 2002
- Van Frassen, B. C. The scientific image. Oxford: Oxford University Press. 1980
- Venables, P. e M. Christie. Electrodermal activity. Techniques in psychophysiology, v.54, n.56, p.3. 1980.
- Viennot, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. International Journal of Science Education, v.1, n.2, p.205-221. 1979.
- Villani, A. e T. Cabral. Mudança conceitual, subjetividade e psicanálise. Investigações em Ensino de Ciências, v.2, n.1, p.43-61. 1997.
- Villani, A. e T. C. B. Cabral. Mudança conceitual, subjetividade e psicanálise. Investigações em Ensino de Ciências, v.2, n.1. 1997.
- Villani, A. e J. Pacca. Students'spontaneous ideas about the speed of light. International Journal of Science Education, v.9, n.1, p.55-66. 1987.

- Villani, A., J. Pacca, *et al.* Concepção espontânea sobre movimento. Revista de Ensino de Física, v.7, n.1, p.37-45. 1985.
- Vosniadou, S. Capturing and modeling the process of conceptual change. . Learning and Instruction, v.4, p.45-70. 1994.
- _____. Conceptual change research: State of the art and future directions. In: S. V. W. Schnotz, & M. Carretero (Ed.). New perspectives on conceptual change Oxford: Elsevier Science Ltd, 1999. Conceptual change research: State of the art and future directions.
- _____. How children learn. Successful Schooling, p.16. 2003.
- _____. The conceptual change approach and its re-framing. In: S. B. Vosniadou, a; Vamvakoussi, X (Ed.). Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction. Oxford: Elsevier, 2007. The conceptual change approach and its re-framing, p.1–15
- Vosniadou, S. e W. Brewer. Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. Cognitive psychology, v.24, p.535-535. 1992.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. . Research on alternative conceptions in science. In: D. Gabel (Ed.). Handbook of research on science teaching and learning. New York: Macmillan, 1994. Research on alternative conceptions in science., p.177 - 210
- Warren, J. W. The mystery of mass-energy. Physics Education, v.11, n.1, p.52-54. 1976.
- Waterhouse, L. Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review. Educational Psychologist, v.41, n.4, p.207-225. 2006.
- Watts, M. Science and poetry: passion v. prescription in school science? International Journal of Science Education, v.23, n.2, p.197-208. 2001.
- Watts, M. e S. Alsop. A feeling for learning: modelling affective learning in school science. Curriculum Journal, v.8, n.3, p.351-365. 1997.
- Whitehead, A. Process and Reality. 1929. Corrected Edition. Ed. David Ray Griffin and Donald W. Sherburne: New York: Free Press 1978.
- Wilson, R. A. K., F.C. The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences: MIT Press. 1999

Winkielman, P. e J. T. Cacioppo. Mind at ease puts a smile on the face:
Psychophysiological evidence that processing facilitation elicits positive affect.
Journal of Personality and social Psychology, v.81, n.6, p.989-1000. 2001.

Zajonc, R. On the primacy of affect. American Psychologist, v.39, n.2, p.117-123. 1984.

Anexos

Experiment: Physics Questions

1. Two metal balls are the same size but one weighs twice as much as the other. The balls are dropped from the roof of a single story building at the same instant of time. The time it takes the balls to reach the ground below will be:

- (A) about half as long for the heavier ball as for the lighter one.
- (B) about half as long for the lighter ball as for the heavier one.
- (C) about the same for both balls.
- (D) considerably less for the heavier ball, but not necessarily half as long.

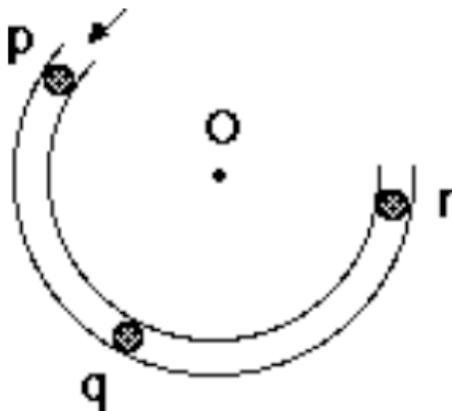
2. Two metal balls are the same size but one weighs twice as much as the other. The balls roll off a horizontal table with the same speed. In this situation:

- (A) both balls hit the floor at approximately the same horizontal distance from the base of the table.
- (B) the heavier ball hits the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the lighter ball.
- (C) the lighter ball hits the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the heavier ball.
- (D) the heavier ball hits the floor considerably closer to the base of the table than the lighter ball, but not necessarily at half the horizontal distance.

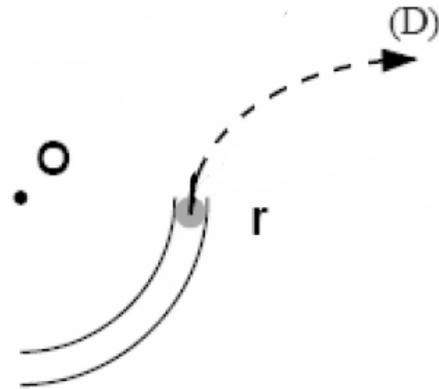
3. A large truck collides head-on with a small compact car. During the collision:

- (A) the truck exerts a greater amount of force on the car than the car exerts on the truck.
- (B) the car exerts a greater amount of force on the truck than the truck exerts on the car.
- (C) the truck exerts a force on the car but the car does not exert a force on the truck.
- (D) the truck exerts the same amount of force on the car as the car exerts on the truck.

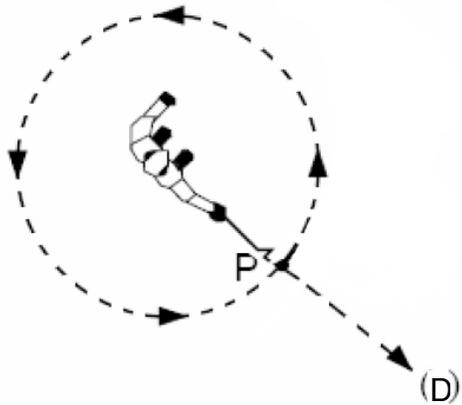
4. The figure shows a frictionless channel in the shape of a segment of a circle with center at "O". The channel has been anchored to a frictionless horizontal table top. You are looking down at the table. Forces exerted by the air are negligible. A ball is shot at high speed into the channel at "p" and exits at "r."



Which path in the figure at right would the ball most closely follow after it exits the channel at "r" and moves across the frictionless table top? B



5. A steel ball is attached to a string and is swung in a circular path in a horizontal plane as illustrated in the accompanying figure. At the point P indicated in the figure, the string suddenly breaks near the ball. If these events are observed from directly above as in the figure, which path would the ball most closely follow after the string breaks? B



6. A large truck breaks down out on the road and receives a push back into town by a small compact car as shown in the figure below.



While the car, still pushing the truck, is speeding up to get up to cruising speed:

- (A) the amount of force with which the car pushes on the truck is equal to that with which the truck pushes back on the car.
- (B) the amount of force with which the car pushes on the truck is smaller than that with which the truck pushes back on the car.
- (C) the amount of force with which the car pushes on the truck is greater than that with which the truck pushes back on the car.

(D) the car's engine is running so the car pushes against the truck, but the truck's engine is not running so the truck cannot push back against the car. The truck is pushed forward simply because it is in the way of the car.

7. A large truck breaks down out on the road and receives a push back into town by a small compact car as shown in the figure below.



After the car reaches the constant cruising speed at which its driver wishes to push the truck:

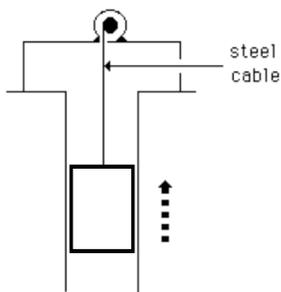
(A) the amount of force with which the car pushes on the truck is equal to that with which the truck pushes back on the car.

(B) the amount of force with which the car pushes on the truck is smaller than that with which the truck pushes back on the car.

(C) the amount of force with which the car pushes on the truck is greater than that with which the truck pushes back on the car.

(D) the car's engine is running so the car pushes against the truck, but the truck's engine is not running so the truck cannot push back against the car. The truck is pushed forward simply because it is in the way of the car.

8. An elevator is being lifted up an elevator shaft at a constant speed by a steel cable as shown in the figure below.



All frictional effects are negligible. In this situation, forces on the elevator are such that:

(A) the upward force by the cable is greater than the downward force of gravity.

(B) the upward force by the cable is equal to the downward force of gravity.

(C) the upward force by the cable is smaller than the downward force of gravity.

(D) the upward force by the cable is greater than the sum of the downward force of gravity and a downward force due to the air.

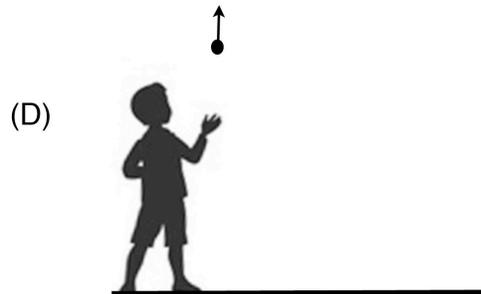
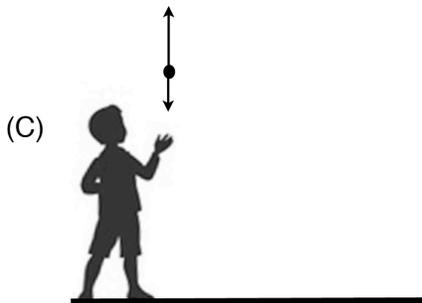
9. A woman exerts a constant horizontal force on a large box. As a result, the box moves across a horizontal floor at a constant speed " v_0 ". The constant horizontal force applied by the woman:

- (A) has the same magnitude as the weight of the box.
- (B) is greater than the weight of the box.
- (C) has the same magnitude as the total force which resists the motion of the box.
- (D) is greater than either the weight of the box or the total force which resists its motion.

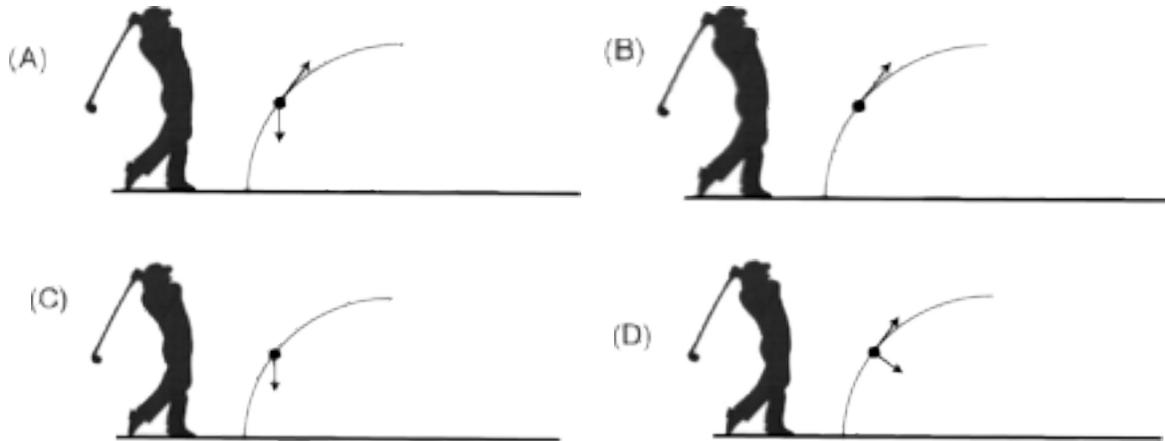
10. A woman exerts a constant horizontal force on a large box. As a result, the box moves across a horizontal floor at a constant speed " v_0 ". If the woman suddenly stops applying a horizontal force to the box, then the box will:

- (A) immediately come to a stop.
- (B) continue moving at a constant speed for a while and then slow to a stop.
- (C) immediately start slowing to a stop.
- (D) continue at a constant speed.
- (E) increase its speed for a while and then start slowing to a stop.

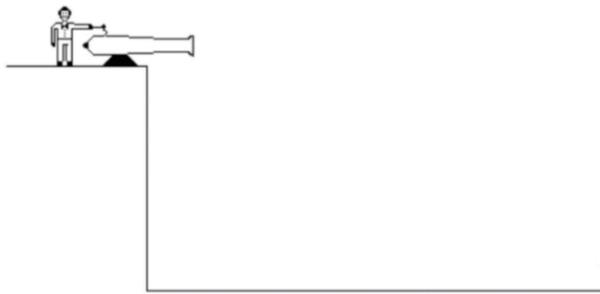
11. A boy throws a ball upward. Choose the image that represents correctly the force(s) that act(s) upon this ball when it is moving upward. Forces exerted by the air are negligible.



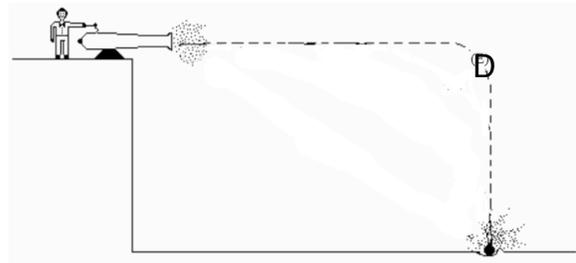
12. Choose the image that represents correctly the force(s) that act(s) upon a ball hit by a golfer. Forces exerted by the air are negligible.



13. A ball is fired by a cannon from the top of a cliff as shown in the figure below.

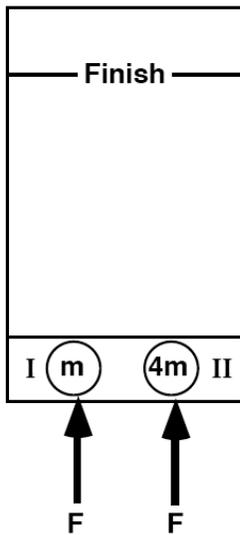


Which of the paths would the cannon ball most closely follow?



14. A bowling ball accidentally falls out of the cargo bay of an airliner as it flies along in a horizontal direction. As observed by a person standing on the ground and viewing the plane as in the figure at right, which path would the bowling ball most closely follow after leaving the airplane?

15. The diagram depicts two pucks on a frictionless table.

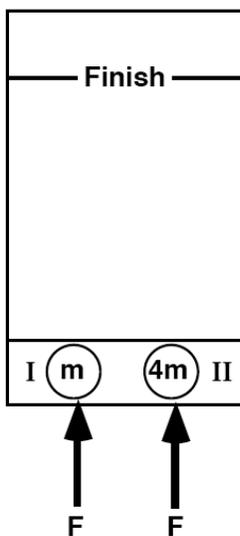


Puck II is four times as massive as puck I. Starting from rest, the pucks are pushed across the table by two **equal** forces.

Which puck will have the greater momentum upon reaching the finish line?

- (A) I
- (B) II
- (C) They will both have the same momentum.
- (D) Too little information to answer.

16. The diagram depicts two pucks on a frictionless table.

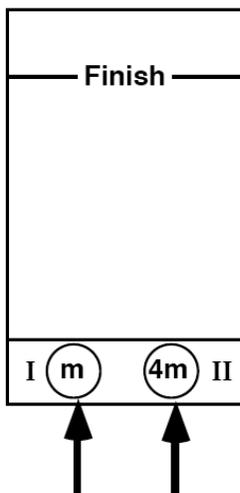


Puck II is four times as massive as puck I. Starting from rest, the pucks are pushed across the table by two **equal** forces.

Which puck will have the greater kinetic energy upon reaching the finish line?

- (A) I
- (B) II
- (C) They both have the same amount.
- (D) Too little information to answer.

17. The diagram depicts two pucks on a frictionless table.

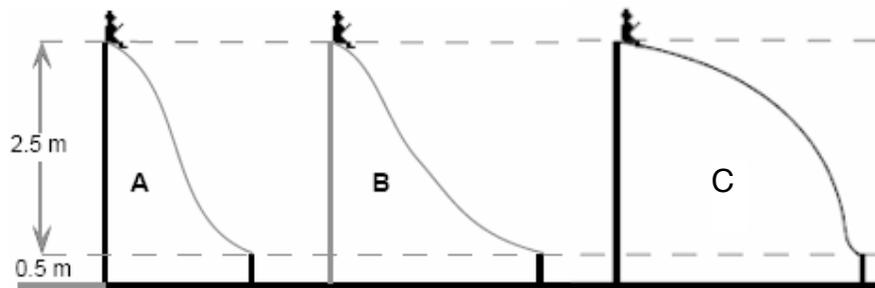


Puck II is four times as massive as puck I. Starting from rest, the pucks are pushed across the table by two **equal** forces.

Which puck will reach the finish line first?

- (A) I
- (B) II
- (C) They will both reach the finish line at the same time.
- (D) Too little information to answer.

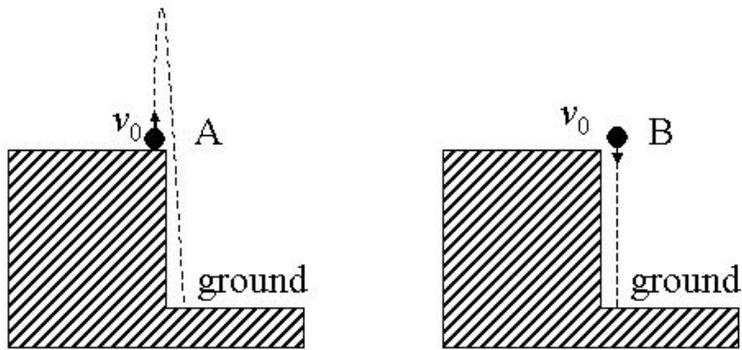
18. A young girl wishes to select one of the **frictionless** playground slides illustrated below to give her the greatest possible speed when she reaches the bottom of the slide.



Which of the slides illustrated in the diagram above should she choose?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) It doesn't matter; her speed would be the same for each.

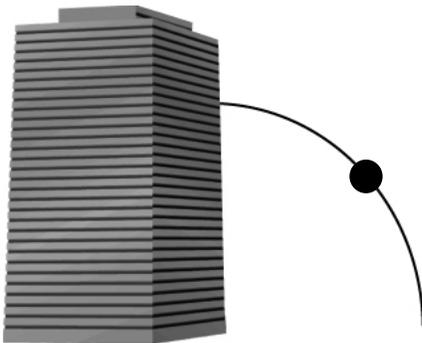
19. Two identical stones, A and B, are shot from a cliff from the same height and with identical initial speeds v_0 . Stone A is shot vertically up, and stone B is shot vertically down (see Figure).



Which one of the following statements best describes which stone has a larger speed right before it hits the ground?

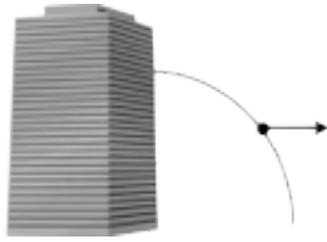
- (A) Both stones have the same speed.
- (B) A, because it travels a longer path.
- (C) A, because it travels a longer path and takes a longer time.
- (D) B, because no work is done against the gravitational force.

20. A stone is thrown horizontally from a window, as you can see in the picture.

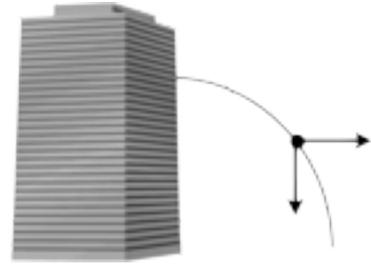


Forces exerted by the air are negligible. Choose the image that represents correctly the force(s) that act(s) upon the stone.

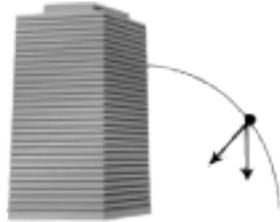
(A)



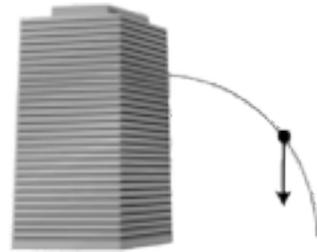
(B)



(C)



(D)



Experiment: Control Questions

21 - Which expression represents 0.0000007 in scientific notation?

- (A) 7×10^{-9}
- (B) 7×10^{-7}
- (C) 7×10^7
- (D) 7×10^9

22 - The five members of a band are getting new outfits. Shirts cost \$12 each, pants cost \$29 each, and boots cost \$49 a pair. What is the total cost of the new outfits for all of the members?

- (A) \$90
- (B) \$95
- (C) \$450
- (D) \$500

23 - One hundred is multiplied by a number between 0 and 1. The answer has to be—

- (A) less than 0
- (B) between 0 and 50 but not 25
- (C) between 0 and 100 but not 50
- (D) between 0 and 100

24- Some students attend school 180 of the 365 days in a year. About what part of the year do they attend school?

- (A) 18%
- (B) 50%
- (C) 75%
- (D) 180%

25 - If Freya makes 8 of her 10 free throws in a basketball game, what is her free throw shooting percentage?

- (A) 20%
- (B) 40%
- (C) 80%
- (D) 90%

26 - What is the absolute value of -4 ?

- (A) -4
- (B) $-1/4$
- (C) $1/4$
- (D) 4

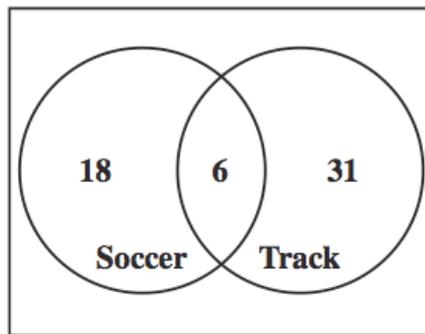
27 - Which number has the greatest absolute value?

- (A) -17
- (B) -13
- (C) 15
- (D) 19

28 - Rico's first three test scores in biology were 60, 80, and 70. What was his mean score?

- (A) 70
- (B) 73
- (C) 76
- (D) 90

29 - The Venn diagram below shows the number of girls on the soccer and track teams at a high school.

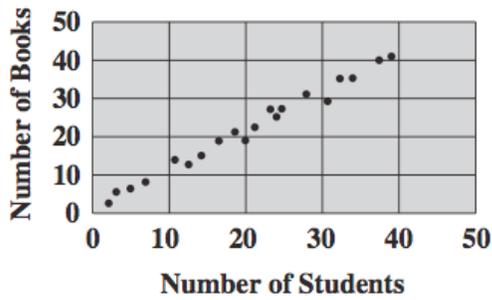


How many girls are on both the soccer and track teams?

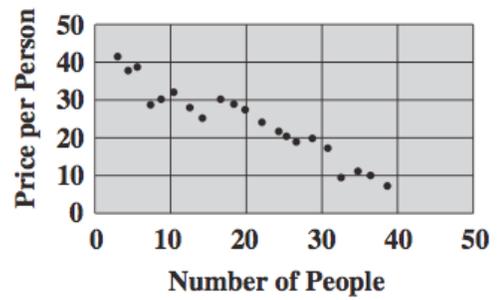
- (A) 6
- (B) 12
- (C) 49
- (D) 55

30 - Which scatter plot shows a negative correlation?

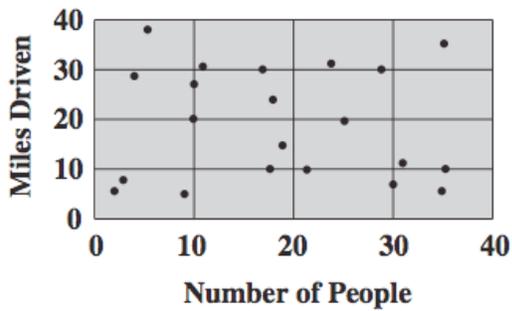
A



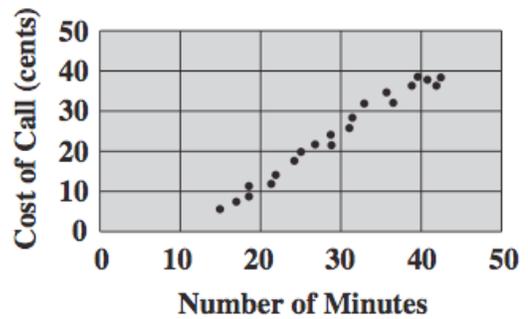
B



C

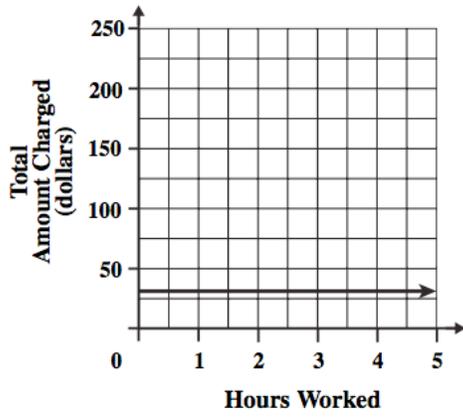


D

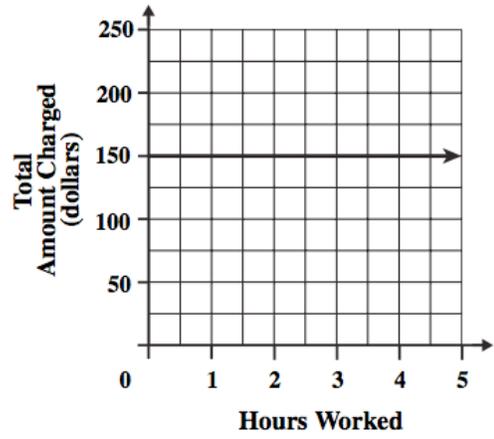


31 - Amy works as a computer consultant. She charges \$30 per hour for her work. Which graph shows the relationship between the number of hours Amy works and the amount of money she charges for her work?

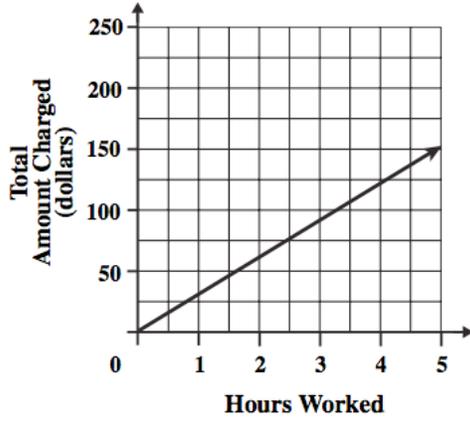
A



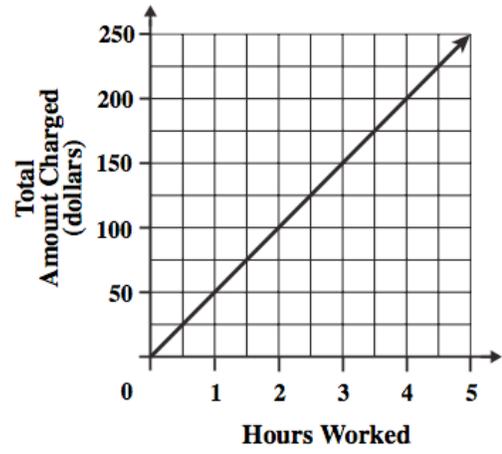
B



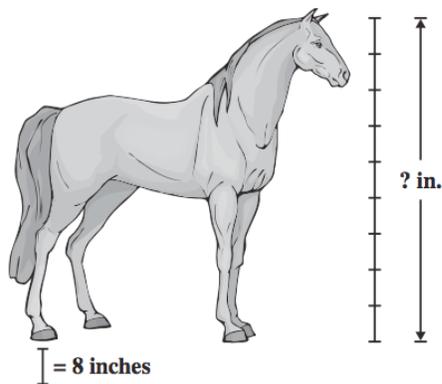
C



D



32 - A scale drawing of a horse is shown below.



What is the actual height of the horse, in inches (in.), from the hoof to the top of the head?

- (A) 56
- (B) 64
- (C) 72
- (D) 80

33 - Which system of equations represents the statements below?
The sum of two numbers is ten. One number is five times the other.

A $\begin{cases} xy = 10 \\ y = 5x \end{cases}$ **B** $\begin{cases} xy = 10 \\ y = x + 5 \end{cases}$ **C** $\begin{cases} x + y = 10 \\ y = 5x \end{cases}$ **D** $\begin{cases} x + y = 10 \\ y = x + 5 \end{cases}$

34- Divide a number by 5 and add 4 to the result. The answer is 9.
Which of the following equations matches these statements?

- (A) $4 = 9 + n/5$
- (B) $n/5 + 4 = 9$

- (C) $5/n = 4$
- (D) $n+4/5=9$

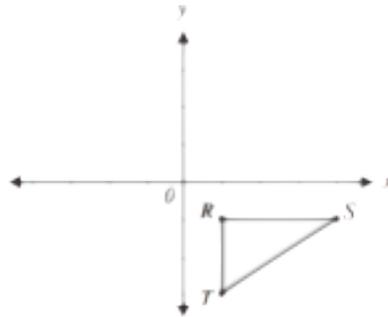
35 - If $n=2$ and $x= 1/2$, then $n(4 - x) =$

- (A) 1
- (B) 3
- (C) 7
- (D) 10

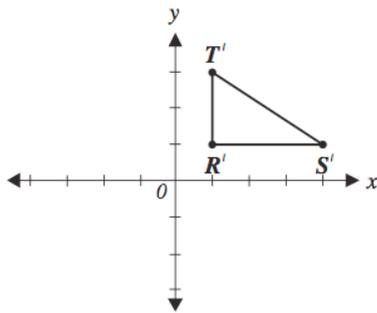
36- Juanita exercised for one hour. How many seconds did Juanita exercise?

- (A) 60
- (B) 120
- (C) 360
- (D) 3,600

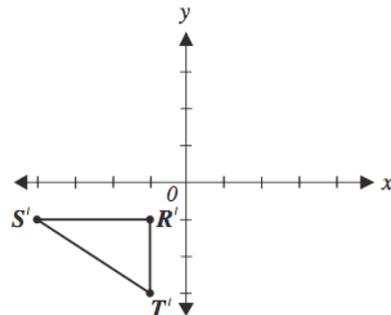
37 - Which of the following triangles $R'S'T'$ is the image of triangle RST that results from reflecting triangle RST across the y -axis?



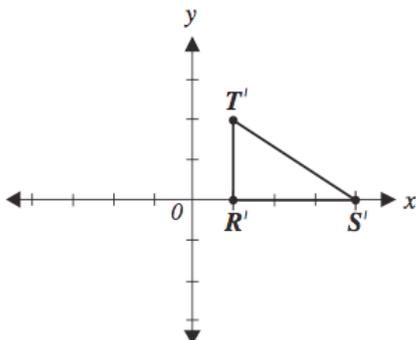
A



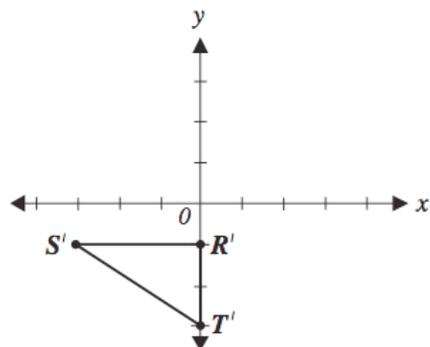
B



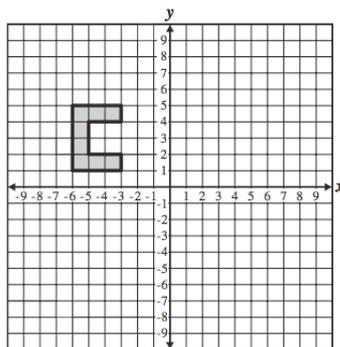
C



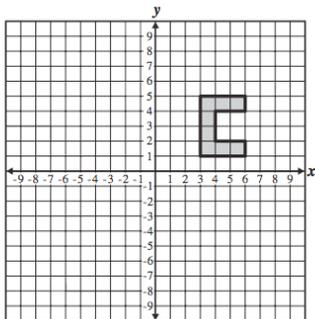
D



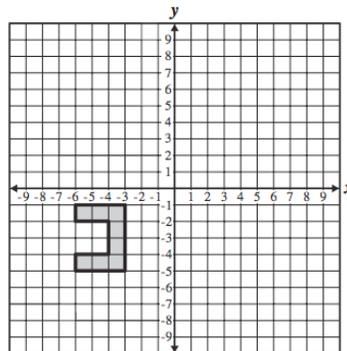
38 - Which graph shows the figure below reflected across the y -axis?



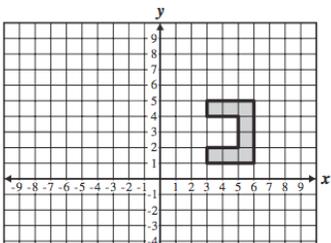
A



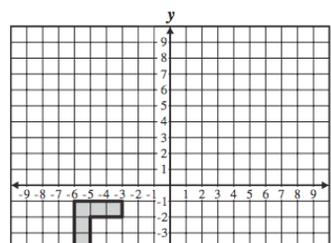
B



C



D



39 - Sara can ride her bicycle 3 miles in 15 minutes. At this rate, how many miles can she ride her bicycle in 45 minutes?

- (A) 9
- (B) 10
- (C) 15
- (D) 20

40 - Marcus can type about 42 words per minute. If he types at this rate for 30 minutes without stopping, about how many words will he type?

- (A) 1260
- (B) 2100
- (C) 2520
- (D) 4200

