Ana Maria de Souza Velloso

Casos investigativos no ensino de corrosão: estratégia para o desenvolvimento
de habilidades argumentativas de alunos de graduação em química

Dissertação apresentada ao Instituto de Química de
São Carlos, da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Ciências (Química
Analítica)

Orientadora: Profa. Dra. Salete Linhares Queiroz

São Carlos
2009

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amigos e familiares,
que tanto me ajudaram nesta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, pela infra-estrutura e suporte oferecido.

À parceria Capes - Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, pelo auxílio financeiro e afastamento concedidos.

À Profa. Dra. Salete Linhares Queiroz, pelo carinho e dedicação ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Artur de Jesus Motheo, pela oportunidade oferecida e por toda a ajuda dispensada na realização do trabalho.

Aos alunos que cursaram a disciplina SQF0338 - Corrosão e Eletrodeposição no primeiro semestre letivo de 2007, pelo empenho e dedicação em resolver os casos propostos.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química, em especial aos amigos Luciana Sá, Luciana Nobre, Jane Raquel e Jerino, pela paciência e ajuda nos momentos mais difíceis.

Ao Ricardo, pelo companheirismo e dedicação.

Aos meus pais e familiares, por estarem sempre ao meu lado.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“Acreditar em algo e não viver é desonesto”.

Mahatma Gandhi (1869 – 1948)

RESUMO

Nos últimos anos, um crescente número de trabalhos tem investigado o papel da argumentação em ambientes de ensino de ciências. Dentre os aspectos investigados estão: a identificação do espaço ocupado por atividades que fomentam a argumentação em aulas de ciências; a concepção e a avaliação de contextos didáticos que subsidiam o ensino e a aprendizagem da argumentação em aulas de ciências; a determinação da qualidade da argumentação dos estudantes em aulas de ciências e de fatores que conduzam à instauração do discurso argumentativo em ambientes de ensino de ciências.

Neste trabalho temos como objetivo investigar o potencial do método de estudo de caso para promover a argumentação. A pesquisa foi realizada durante um semestre em um curso de graduação de química no Brasil. Após o recebimento de cada um dos casos, os estudantes trabalharam em grupos na resolução de perguntas, elaboradas com o intuito de guiá-los sobre questões relevantes relacionadas ao caso e vinculadas a conteúdos ministrados na disciplina na qual a pesquisa foi realizada (unidade curricular de “corrosão”) e a aspectos ambientais e econômicos. O processo culminou nas apresentações orais dos grupos sobre as possíveis soluções para os casos e na realização de debates entre os grupos que haviam solucionado o mesmo caso. A coleta de dados envolveu as filmagens das apresentações orais das soluções de cada um dos casos e a posterior transcrição das falas dos alunos responsáveis pelas apresentações. A qualidade dos argumentos elaborados pelos estudantes foi analisada com base no Modelo de Toulmin e em ferramenta analítica, derivada do referido Modelo, que foi aplicada às transcrições das falas dos alunos. As conclusões advindas da realização do presente trabalho indicam o método de estudo de caso como alternativa eficiente para a promoção do discurso argumentativo no ensino de química.

ABSTRACT

In recent years a growing number of studies are focusing on the role of argumentation in science learning contexts. Studies have looked at: the place of argumentation in science teaching; the design and evaluation of learning environments that support the teaching and learning of argumentation in a scientific context; the quality of students' argumentation, and sought to discover factors that promote argumentation.

The research reported in this study focused on the potential of the case study method to promote argumentation. The research took place over one semester in an undergraduate chemistry course in Brazil. After receiving each case, students worked in group on a set of questions designed to guide them through key chemical ("corrosion" curriculum unit), environmental and economic aspects of the case study. The process culminated with class presentations by student groups about possible solutions to the cases and a posterior debate between the groups that have solved the same case. To assess the students' argumentation, each student was videotaped and audio-recorded while they presented possible solutions to the cases; the audio-recordings were fully transcribed. To assess the quality of students' argumentation, Toulmin's Argument Pattern (TAP) and an analytical tool that extend the use of TAP were applied to the presentation transcripts. The findings of this work support the idea that the case study approach is an effective strategy for enhancing students' ability to argument.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Esquema para a análise da argumentação dos alunos por meio de categorias relacionadas ao processo de tomada de decisão (PATRONIS, POTARI; SPILIOTOPOULOU, 1999).	24
Figura 2	Modelo Normativo do Processo de Tomada de Decisão de Kortland (1996).	36
Figura 3	Exemplo do modelo de argumento de Toulmin (2001) extraído do trabalho de Lawson (2003).	43
Figura 4	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	53
Figura 5	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	53
Figura 6	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	54
Figura 7	Esquema que representa o quarto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	54
Figura 8	Esquema que representa o quinto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	55
Figura 9	Esquema que representa o sexto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	55
Figura 10	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	56
Figura 11	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	57
Figura 12	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	58
Figura 13	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	60
Figura 14	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	60
Figura 15	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	61

Figura 16	Esquema que representa o quarto argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	61
Figura 17	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	62
Figura 18	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	62
Figura 19	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso <i>Corrosão em Pontes</i> .	63
Figura 20	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	65
Figura 21	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	65
Figura 22	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	66
Figura 23	Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	66
Figura 24	Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	67
Figura 25	Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	67
Figura 26	Esquema que representa o quarto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	68
Figura 27	Esquema que representa o quinto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do Caso <i>Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal</i> .	68
Figura 28	Frequência do TAP nos argumentos produzidos pelos alunos na resolução dos três casos.	70
Figura 29	Frequência de combinações do TAP para cada um dos três casos solucionados.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Categorias desenvolvidas por Driver e Newton (1997) para a análise da argumentação dos alunos a partir do modelo de argumento de Toulmin (2001).	21
Quadro 2	Níveis epistêmicos e definições estabelecidas por Kelly e Takao (2002) para a análise de argumentos produzidos por estudantes de um curso de oceanografia.	23
Quadro 3	Caso <i>Corrosão em Aviões</i> .	34
Quadro 4	Questões elaboradas com base no Modelo Normativo de Tomada de Decisão de Kortland (1996).	37
Quadro 5	Ordem crescente de complexidade de acordo com a metodologia de Erduran, Simon e Osborne (2004).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Respostas dadas pelos estudantes ao questionário de avaliação da atividade realizada com estudo de casos. CT (Concordo Totalmente); CP (Concordo Parcialmente); I (Indeciso); DP (Discordo Parcialmente); DT (Discordo Totalmente).	76
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABP – Aprendizado Baseado em problemas

DGESIC – Dirección General de Educación Superior y Investigación Científica

Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica S. A.

PAE – Programa de Aperfeiçoamento de Ensino da Universidade de São Paulo

PBL – Problem Based Learning

PISA – Programa Internacional de Avaliação dos Alunos

TAP – Toulmin's Argument Pattern

RODA – Razonamiento, Discusión, Argumentación

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Argumentação e ensino de ciências.....	15
1.2 Método de estudo de caso.....	27
2 OBJETIVOS.....	31
3 REFERENCIAIS TEÓRICOS	32
3.1 Produção de casos investigativos, segundo Herreid (1998b)	33
3.2 Modelo Normativo de Tomada de Decisão de Kortland (1996)	35
3.3 Os usos do argumento (Toulmin, 2001)	38
3.3.1 O padrão de um argumento: dados e justificativas.....	38
3.3.2 O padrão de um argumento: para apoiar nossas justificativas	41
3.4 Metodologia de análise qualitativa dos argumentos, segundo Erduran, Simon e Osborne (2004)	43
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	45
4.1 Produção dos casos e aplicação da proposta	46
4.2 Método de coleta de dados	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso <i>Corrosão em aviões</i>	52
5.2 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso <i>Corrosão em pontes</i>	59
5.3 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso <i>Corrosão em materiais empregados no meio bucal</i>	64
5.4 Componentes dos argumentos nos casos solucionados: uma análise comparativa.....	69
5.5 As percepções dos estudantes sobre a proposta de ensino aplicada	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

APÊNDICE A	89
APÊNDICE B	92
APÊNDICE C	93
APÊNDICE D	95
APÊNDICE E	96
APÊNDICE F	99
APÊNDICE G	101
ANEXO A	102

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da década de noventa a discussão a respeito do papel da argumentação no ensino de ciências vem ocupando lugar de destaque em muitos países europeus e na América do Norte (ERDURAN; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, 2008). No Brasil são ainda escassas as investigações dedicadas à temática, especialmente com relação ao ensino de química (SANTOS; MORTIMER; SCOTT, 2001; SÁ; QUEIROZ, 2005; SÁ; QUEIROZ, 2007a).

Vários pesquisadores afirmam que a prática da argumentação pode fazer com que os estudantes compreendam conceitos científicos mais adequadamente e entendam melhor a própria natureza da construção do conhecimento científico (KELLY; DRUKER; CHEN, 1998; CAPECCHI; CARVALHO, 2000; DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; KELLY; TAKAO, 2002; VILLANI; NASCIMENTO, 2003). Assim, a troca de idéias entre os alunos e a elaboração de explicações coletivas podem favorecer o aprofundamento dos conceitos discutidos em classe e também propiciar o contato com um aspecto importante para a formação de uma visão da ciência distinta daquela transmitida na escola (da ciência como um conhecimento estático).

Duschl (1998), no artigo *La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación*, indica a necessidade de elaboração de atividades de ensino nas quais os alunos sejam estimulados a apresentar e discutir questões científicas. No desenvolvimento de tais atividades, o papel fundamental do professor é atuar como um "advogado do diabo", a partir da apresentação de respostas desafiadoras frente aos resultados obtidos e aos posicionamentos assumidos pelos alunos. Estes, por sua vez, precisam ser responsáveis pela qualidade dos resultados que apresentam. Assim, é importante que tenham

acesso a uma ampla gama de idéias a respeito do tópico em discussão em classe e que também lhes seja dada a oportunidade de revisar e refazer as suas tarefas.

Neste trabalho delineamos uma proposta de ensino, pautada na aplicação do método de estudo de caso (SÁ; FRANCISCO; QUEIROZ, 2007), visando estimular a discussão de questões científicas, assim como sócio-científicas, e a elaboração de argumentos por parte de alunos de graduação em química. Tendo em vista a natureza da temática explorada nesta dissertação, apresentamos, a seguir, algumas abordagens adotadas nas pesquisas que se dedicam à questão da **argumentação no ensino de ciências** e discutimos aspectos relacionados à aplicação do **método de estudo de caso** no ensino de química.

Cabe ainda destacar que entendemos a argumentação como atividade social e discursiva que se realiza pela justificação de pontos de vista e considerações de perspectivas contrárias com o objetivo último de promover mudanças nas representações dos participantes sobre o tema discutido. Vista deste modo, a argumentação se caracteriza como uma discussão crítica, durante a qual pontos de vista são construídos, negociados e transformados (VAN EEMEREN; GOOTENDORST, 1992). A ênfase sobre negociação e mudança – características definidoras da argumentação – confere a este tipo de discurso uma dimensão epistêmica que o institui como recurso privilegiado de mediação em processo de construção de conhecimento que ocorrem em contextos sociais diversos, incluindo o contexto escolar.

1.1 Argumentação e ensino de ciências

Investigações sobre a argumentação no ensino de ciências vêm sendo realizadas, especialmente nas duas últimas décadas, em todos os níveis de ensino, com o intuito de conhecer, entre outros aspectos:

- *o espaço ocupado pela argumentação em aulas de ciências;*

- *atividades de ensino que se mostrem eficientes no fomento à instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências;*
- *a qualidade dos argumentos produzidos pelos estudantes em aulas de ciências;*
- *mecanismos que possam favorecer o aperfeiçoamento das habilidades argumentativas dos estudantes.*

No que tange ao *espaço ocupado pela argumentação em ambientes de ensino de ciências*, poucas pesquisas foram reportadas na literatura, dentre as quais se destacam as realizadas por Newton, Driver e Osborne (1999) e por Sá e Queiroz (2007b, 2007c). No primeiro trabalho foram investigadas atividades realizadas em salas de aula e laboratórios de ensino de ciências, no nível fundamental, em uma escola inglesa. Os autores concluíram que o espaço ocupado pela argumentação neste nível de ensino é exíguo. Conclusão semelhante foi alcançada por Sá e Queiroz (2007b), com relação às aulas ministradas em disciplinas de um curso de bacharelado em química de uma universidade pública brasileira.

Nesses trabalhos a coleta de dados se deu a partir da observação sistemática das aulas ministradas a partir da utilização de um esquema de classificação proposto por Newton, Driver e Osborne (1999). O esquema serviu de subsídio para o registro das atividades dos estudantes e das interações dos mesmos com os professores durante as aulas observadas. Entrevistas foram também realizadas com professores dos respectivos níveis de ensino (nível fundamental, na escola inglesa; nível superior, na universidade brasileira), tendo em vista a compreensão da baixa extensão em que atividades que fomentam a prática da argumentação foram adotadas.

No trabalho de Sá e Queiroz (2007c) o seguinte questionamento foi apresentado a cada um dos professores: *a partir da observação de diferentes aulas, ministradas por diferentes professores do ensino superior de química, verificamos a pouca ocorrência de discussões,*

que oferecessem ao aluno a oportunidade de argumentar, discutir e expor suas idéias. Em sua opinião, quais as razões pelas quais discussões dessa natureza e atividades que promovam a argumentação, não ocorrem com frequência em aulas de química no ensino superior? Segundo as autoras, as razões mais enfatizadas pelos entrevistados frente ao questionamento foram:

- Limitações na formação de professores do ensino superior: de fato, no Brasil a formação pedagógica dos professores que atuam no ensino superior de química tem sido objeto de crítica e de estudos que mostram a necessidade de superação de um paradigma de reprodução e repetição, tanto da prática dos profissionais professores como dos processos de formação dos mesmos (MALDANER, 1999; ZANON; OLIVEIRA; QUEIROZ, 2007).

- Pressões externas impostas pelo currículo: outro ponto ressaltado pelos professores diz respeito ao excesso de disciplinas nos cursos de graduação e ao pouco tempo que os estudantes dispõem para praticar o raciocínio e a reflexão. Considerações presentes nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999) vão ao encontro das colocações feitas pelos professores nas entrevistas.

Nas Diretrizes é consensual a seguinte idéia:

Os currículos vigentes estão transbordando de conteúdos informativos em flagrante prejuízo dos formativos, fazendo com que o estudante saia dos cursos de graduação com "conhecimentos" já desatualizados e não suficientes para uma ação interativa e responsável na sociedade, seja como profissional, seja como cidadão (ZUCCO; PESSINE; ANDRADE, 1999, p.454).

- Má formação do aluno no ensino básico: os professores também chamaram atenção para o fato dos alunos chegarem despreparados na universidade, por conta de uma formação deficiente no ensino básico. Nesse sentido, resultados obtidos em avaliações mundiais para o ensino básico, como a do Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), corroboram a colocação dos docentes, uma vez que o Brasil aparece em posições não

satisfatórias, quando comparado a outros países, indicando a existência de sérias deficiências no seu sistema educativo.

- Falta de interesse por parte dos alunos: o pouco comprometimento por parte dos alunos com as disciplinas também foi destacado pelos docentes como agravante para a ausência da argumentação nas aulas. Acreditam que a falta de curiosidade dos alunos com relação aos tópicos ministrados funciona como impedimento para que a discussão encontre espaço nos ambientes de ensino.

Os professores ingleses, quando confrontados com questionamento semelhante ao apresentado aos professores brasileiros, justificaram o pouco espaço existente para a argumentação nas aulas tendo em vista, principalmente, a ampla gama de conteúdos a ser ministrada e o pouco tempo disponível para tanto e a sua falta de habilidade em coordenar discussões em sala de aula. Apesar dos trabalhos de Newton, Driver e Osborne (1999) e de Sá e Queiroz (2007b, 2007c) terem sido realizados em períodos e países distintos, e de não ser possível estabelecer generalizações apenas a partir das conclusões deles advindas, uma vez que se basearam em amostras relativamente restritas de aulas, para lugares específicos em cada um dos países em questão, eles sugerem a necessidade de ações que venham a facilitar a instauração de práticas argumentativas nos ambientes de ensino de ciências.

As atividades de ensino que se mostram eficientes no fomento à instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências possuem em comum o fato de propiciarem interações entre os alunos e entre os alunos e o professor em salas de aulas e laboratórios de ensino e de conduzirem os estudantes à resolução de problemas autênticos e à discussão/comparação/argumentação posterior a respeito dos mesmos (CAPECCHI; CARVALHO, 2000; DRIVER; NEWTON; OSBORNE, 2000; KELLY; TAKAO, 2002; VILLANI; NASCIMENTO, 2003). Duschl e Osborne (2002) definem problemas autênticos como sendo aqueles que apresentam uma situação (real ou simulada), contextualizada na vida

cotidiana, com a complexidade adequada aos propósitos de ensino, e que requerem o uso do pensamento lógico e crítico e a consideração de explicações alternativas. Tais problemas podem assumir um caráter científico ou sócio-científico e encontram aplicação em diversas disciplinas.

De acordo com Castro e Jiménez Aleixandre (2000), um cenário adequado para resolução de problemas autênticos é o pequeno grupo. Estes contextos são adequados para socialização dos estudantes, para ajudá-los a tomar consciência do ponto de vista dos demais, a aprender a negociar e até renunciar a satisfação de seus interesses em benefício de um objetivo coletivo. Nessa perspectiva, Jiménez Aleixandre (2002) delineou uma atividade de ensino, pautada no trabalho em pequenos grupos no formato *jigsaw* (BARBOSA; JÓFILI, 2004), e a aplicou junto a alunos do nível médio de Vigo, Espanha. Os estudantes foram apresentados a um problema, intitulado *El tubo de Budiño*, através do recebimento de uma carta, supostamente enviada por um órgão oficial do governo espanhol, que lhes solicitava um relatório sobre a conveniência, ou não, da construção de uma rede de coletores como parte do plano de saneamento de um rio da região. No caso da recomendação dos alunos, apresentada no relatório, não ser favorável à proposta, estes deveriam, então, encontrar uma alternativa para a resolução do problema e argumentar a favor da mesma. O problema de gestão ambiental, que neste caso é real, além de ser autêntico, foi escolhido porque o plano de saneamento apresentava consequências tanto positivas, quanto negativas, para a população, não conduzindo os estudantes a uma resposta óbvia.

Outras atividades que têm sido utilizadas com o objetivo de fomentar a instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências são o *role-play* – atividade que inclui atribuir um papel a um ou mais membros de um pequeno grupo e dar um propósito a ser atingido (BROWN, 1994) – e o debate. Simonneaux (2001) lançou mão de ambas para elaborar uma proposta de ensino aplicada junto a alunos de um curso técnico em Auch, França. Os

estudantes foram, inicialmente, confrontados com uma situação imaginária, relacionada à área de biotecnologia: a possibilidade de instauração do cultivo transgênico de salmão na região. Em seguida, foram solicitados a discutir a aprovação, ou não, do cultivo e a argumentar a favor da decisão tomada. As decisões e argumentações dos alunos foram apresentadas inicialmente no formato de *role-play* e depois no formato de debate.

Zohar e Nemet (2002), também com o objetivo de fomentar a argumentação em sala de aula, propuseram a alunos do nível médio e fundamental atividades de ensino pautadas na apresentação de dilemas referentes à área de genética humana e na solicitação da resolução dos referidos dilemas. Nessa mesma perspectiva, no contexto nacional, Sá e Queiroz (2007a) fizeram uso de casos investigativos de caráter sócio-científico em disciplina de comunicação científica oferecida em um curso de bacharelado em química.

Levando em consideração que a argumentação é uma prática humana utilizada com frequência quando pensamos e escrevemos um texto ou quando negociamos ações em um grupo ou em uma comunidade específica, desenvolver atividades de ensino, como as relatadas anteriormente, que se mostram promissoras no fomento à instauração do discurso argumentativo em aulas de ciências, é de primordial importância. Ademais, em uma sociedade democrática não se pode ter um alunado conformista. É necessário formar um alunado crítico e capaz de argumentar sobre diferentes situações que a ele sejam apresentadas, de maneira que, como cidadão, possa tomar decisões em sua vida, especialmente no que diz respeito a questões de caráter sócio-científico (SANTOS; MORTIMER; SCOTT, 2001).

A qualidade dos argumentos produzidos pelos estudantes quando participam de determinadas atividades em aulas de ciências também vem sendo intensamente investigada. Neste tipo de investigação, usualmente, os dados coletados são analisados a partir da consideração de modelos, elaborados por diversos autores, sobre os elementos que constituem a argumentação e as inter-relações que devem existir, necessariamente, entre estes elementos

para que sejam válidos. (VAN EEMEREN; GOOTENDORST, 1992; TOULMIN, 2001).

Um dos modelos utilizados frequentemente por pesquisadores da área de educação em ciências é o modelo elaborado por Toulmin (2001), também conhecido como TAP (*Toulmin's Argument Pattern*), que consiste em uma representação genérica do discurso científico, desde os dados até a conclusão. O artigo intitulado *TAPping into argumentation: developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse* mostra um exemplo da aplicação do TAP para a análise da argumentação no ensino de ciências (ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004). Nesse trabalho o TAP foi usado como instrumento para avaliar a argumentação em discursos de ciência, mais especificamente, o TAP foi adotado para investigar a argumentação em discussões entre professores e estudantes e entre os próprios estudantes em pequenos grupos.

Outras formas distintas de análise da qualidade da argumentação são descritas na literatura. Segundo Capecchi e Carvalho (2000), as categorias apresentadas no Quadro 1, desenvolvidas por Driver e Newton (1997), a partir do modelo de Toulmin (2001), foram elaboradas dentro de uma proposta de trabalho visando a criação de atividades voltadas para o incentivo de habilidades de argumentação entre alunos a partir de temas relacionados ao ensino de ciências.

Tipo de Argumento	Nível
Afirmiação isolada sem justificativa	0
Afirmações competindo sem justificativas	0
Afirmiação isolada com justificativa	1
Afirmações competindo com justificativas	2
Afirmações competindo com justificativas e qualificadores	3
Afirmações competindo com justificativas respondendo por refutação	3
Fazer julgamento integrando diferentes argumentos	4

Quadro 1 - Categorias desenvolvidas por Driver e Newton (1997) para a análise da argumentação dos alunos a partir do modelo de argumento de Toulmin (2001).

Segundo as referidas autoras, os níveis atribuídos em tais categorias são baseados na complexidade dos argumentos utilizados, assim como na interação entre diferentes idéias. O

uso de qualificadores ou refutações (nível 3) só é necessário quando há afirmações competindo (nível 2); um argumento que não sofre nenhum questionamento pode ser incompleto (nível 1). Fazer julgamento integrando diferentes argumentos (nível 4) indica uma compreensão elevada da natureza do conhecimento científico.

Kelly e Takao (2002) consideram que o modelo de argumento de Toulmin (2001) permite a reflexão sobre a estrutura do argumento e ajuda a evidenciar seus componentes, destacando a importância das relações lógicas que deve haver entre eles, ou seja, o esquema possibilita uma reflexão sobre as características existentes na argumentação científica. No entanto, assim como outros autores, chamam a atenção para algumas limitações do modelo. Afirmam que este não conduz a julgamentos sobre a verdade ou sobre a adequação do argumento. Desta forma, defendem que os argumentos produzidos pelos alunos devem ser analisados também do ponto de vista epistêmico. Nessa perspectiva, desenvolveram uma metodologia na qual o analista precisa capturar operações com as quais os participantes trazem para os discursos informações relevantes ao domínio do conhecimento específico (conceitos, definições etc), adotam procedimentos e modos de raciocínio típicos deste campo de conhecimento e conferem estatuto epistêmico às conclusões estabelecidas. Uma vez identificadas tais operações, faz-se necessário observar se estas se encontram no contexto de um discurso argumentativo. Em caso afirmativo os argumentos presentes no discurso são classificados em níveis epistêmicos. A qualidade do texto argumentativo escrito será determinada a partir do nível epistêmico atribuído à maioria dos argumentos que o constituem e também a partir das relações existentes entre os argumentos dispostos nos diversos níveis epistêmicos.

No que diz respeito aos níveis epistêmicos, os autores sugeriram, em um trabalho que tratou de conteúdos específicos da área de oceanografia, o estabelecimento de seis níveis que foram organizados em ordem crescente de complexidade (do nível I para o nível VI). O

Quadro 2 indica a definição dada pelos autores para cada um dos níveis no referido trabalho.

Nível Epistêmico	Definição
VI	Colocações gerais que reportam processos geológicos e fazem referência a pesquisas ou a livros e artigos sobre o assunto. O conhecimento apresentado pode ser mais amplo, não apenas relacionado à área em estudo.
V	Colocações em forma de conclusões ou modelos específicos para a área em estudo.
IV	Colocações que apresentam conclusões teóricas ou modelos, que são ilustrados/exemplificados com o uso de informações específicas da área em estudo.
III	Colocações que descrevem estruturas geográficas no contexto das estruturas geológicas da área em estudo.
II	Colocações que identificam e descrevem características topográficas da estrutura geológica específica da área em estudo.
I	Colocações que fazem referência explícita à localização da área geográfica em estudo.

Quadro 2 - Níveis epistêmicos e definições estabelecidas por Kelly e Takao (2002) para a análise de argumentos produzidos por estudantes de um curso de oceanografia.

O trabalho intitulado *Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: implication for teaching* (PATRONIS, POTARI; SPILIOTOPOULOU, 1999) apresenta outra forma de analisar argumentos, por meio de categorias relacionadas ao processo de tomada de decisão. Os autores buscaram subsídio para a elaboração do esquema, ilustrado na Figura 1, na análise de discussões desenvolvidas em sala de aula por estudantes do nível fundamental de Patras, Grécia. Durante as discussões os alunos se engajaram na resolução de um problema de caráter sócio-científico, que exigia a tomada de decisão sobre a construção, ou não, de uma estrada na região da escola, e na argumentação a favor dos seus pontos de vista. Conforme ilustra o esquema, foram identificadas duas dimensões nos argumentos dos alunos. A primeira enfatiza o processo argumentativo e a segunda está relacionada com a natureza do argumento utilizado.

Figura 1 - Esquema para a análise da argumentação dos alunos por meio de categorias relacionadas ao processo de tomada de decisão (PATRONIS, POTARI; SPILIOTOPOULOU, 1999).

De acordo com os autores, na primeira dimensão – quando se pretende classificar o processo de elaboração do argumento – deve-se considerar se um determinado ponto de vista é atacado ou defendido, de forma estável ou instável. O processo é considerado estável quando as idéias apresentadas estão bem estruturadas e inalteradas por determinado período; caso contrário, é considerado instável. Quando se considera a segunda dimensão, que trata da natureza do argumento, este é categorizado de três formas distintas: qualitativa, semi-quantitativa ou quantitativa. Um argumento é caracterizado como sendo de natureza qualitativa, quando um determinado ponto de vista é apresentado com base em conflito de valores tais como: o aspecto social *versus* o aspecto econômico, o benefício próprio *versus* o bem da coletividade, o aspecto econômico *versus* a conservação da natureza. Quando o argumento apresentado é sustentado por quantidades variáveis, usadas de forma isolada ou com relação a outras quantidades, é caracterizado como sendo de natureza semi-quantitativa e

quando é sustentado pela apresentação de números e cálculos baseados em fórmulas, é caracterizado como sendo de natureza quantitativa.

Aos modelos para análise de argumentos apresentados anteriormente, somam-se outros reportados na literatura (SAMPSON; CLARCK, 2008) que também são relevantes para o progresso da área, pois possibilitam a busca por respostas para questões fundamentais, como: qual a qualidade dos argumentos dos alunos, do ponto de vista estrutural e epistêmico, na discussão de questões científicas e sócio-científicas? As habilidades argumentativas dos alunos, uma vez adquiridas com relação a um determinado conteúdo, são transferidas para outros domínios? Em qual extensão as solicitações feitas em sala pelo professor e a natureza das atividades didáticas propostas fomentam a prática da argumentação e favorecem a elaboração de argumentos de boa qualidade?

Alguns pesquisadores (ZOHAR; NEMET, 2002; SIMON; ERDURAN; OSBORNE, 2006), além da análise propriamente dita da qualidade dos argumentos produzidos, investigam *mecanismos que possam favorecer o aperfeiçoamento das habilidades argumentativas dos estudantes*, ou seja, defendem a introdução, nos cursos de ciências, de instruções que efetivamente favoreçam o aprendizado da argumentação por parte dos alunos.

Nesse contexto, as pesquisas indicam importantes aspectos a serem considerados quando se objetiva o aperfeiçoamento de tais habilidades: a apresentação aos estudantes dos componentes usualmente presentes em um “bom” argumento, com a posterior identificação de tais componentes em documentos científicos distintos (ZOHAR; NEMET, 2002); a realização de atividades escritas, como produção de textos, em aulas de ciências (VOSS; MEANS, 1991) e o uso de problemas autênticos (JIMÉNEZ ALEIXANDRE, 2002), conforme discutido anteriormente. A apresentação aos estudantes dos componentes do argumento e a posterior solicitação para que produzam textos argumentativos baseados no preenchimento de *scaffoldings* (esquemas) que ilustram os componentes do argumento,

também têm sido sugeridas por pesquisadores (CHO; JONASSEN, 2002; NUSSBAUM, 2002) como recurso para subsidiar ações que visam o aprimoramento da argumentação por parte dos estudantes.

Trabalhos publicados por pesquisadores que investigam os quatro aspectos referentes à argumentação, anteriormente discutidos, relatam iniciativas tomadas em alguns países para que ocorra a instauração de discursos argumentativos em aulas de ciências. O desenvolvimento de projetos como o RODA (*Razonamiento, Discusión, Argumentación*) (JIMÉNEZ ALEIXANDRE, 1998), coordenado por pesquisadores da Universidade de Santiago de Compostela, Espanha, e o *Enhancing the Quality of Argument in School Science* (OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004), coordenado por pesquisadores da Universidade de Londres, Inglaterra, vem proporcionando conhecimentos valiosos sobre as contribuições que a instauração de tais discursos traz para o melhoramento do ensino de ciências e indicando caminhos que favorecem essa instauração.

No projeto RODA, financiado pela DGESIC (*Dirección General de Educación Superior e Investigación Científica*), existe a preocupação com relação ao desenvolvimento de problemas autênticos e à análise dos argumentos produzidos pelos alunos a partir da resolução dos mesmos. O projeto *Enhancing the Quality of Argument in School Science*, realizado em escolas do nível médio de Londres, foi desenvolvido em duas fases, com a participação de professores pesquisadores e de professores do ensino médio e fundamental. Na primeira fase buscou-se o desenvolvimento de materiais e estratégias que favorecessem a argumentação em sala de aula. Na segunda fase foram analisadas as aulas dos professores do nível médio, tendo em vista a avaliação das capacidades argumentativas dos alunos matriculados nas disciplinas por eles ministradas. Os dados coletados foram analisados com o auxílio do TAP (OSBORNE; ERDURAN; SIMON, 2004).

1.2 Método de estudo de caso

O método de estudo de caso tem sua origem na Universidade de Harvard, Estados Unidos, e remonta aos anos de 1800, desde quando passou a ser utilizado, especialmente em disciplinas de medicina, economia e direito (SHERFIELD; MONTGOMERY; MOODY, 2004). No ensino de ciências é digna de nota a iniciativa de James B. Conant, aparentemente, o primeiro educador da área a organizar uma disciplina neste formato, na mesma universidade, em suas aulas sobre a história da ciência (CONANT, 1949).

O método é também descrito como uma variante do modelo médico original de Aprendizado Baseado em Problemas (ABP), conhecido como *Problem Based Learning* (PBL), que tem sua origem na Escola de Medicina de McMaster, Canadá, no final dos anos sessenta, e se difundiu por faculdades de medicina de diversos países, como Holanda (Universidade de Maastricht) e Austrália (Universidade de Newcastle). Em ambos os contextos, os alunos recebem um caso elaborado pelo professor, que narra uma história na qual os personagens enfrentam decisões ou dilemas. Os estudantes, divididos em pequenos grupos, são incentivados a se familiarizar com os personagens e com as circunstâncias mencionadas no caso para, em seguida, investigar fatos, valores e contextos nele presentes com o intuito de solucioná-lo (WATERMAN, 1998).

Outra característica comum ao método de estudo de caso e ao PBL é que os estudantes têm a oportunidade de direcionar suas próprias aprendizagens de forma colaborativa, identificar assuntos, formular perguntas e conhecer novos conteúdos. Ademais, a aplicação de ambos os métodos tem potencialidade para atender a recomendações presentes em documentos oficiais da área de educação de diversos países, à medida que os alunos estão iniciando os estudos a partir dos conhecimentos que já possuem (conhecimentos prévios), estão desenvolvendo habilidades de comunicação e aprendizagem que serão essenciais em

muitas circunstâncias, além de lidarem com pontos de vistas diferentes dos seus próprios, adquirindo uma visão mais ampla sobre determinados assuntos.

Uma diferença marcante entre os dois métodos, segundo Waterman (1998), é que o objetivo do modelo original do ABP é a aprendizagem do assunto científico, mais do que o desenvolvimento de habilidades para a tomada de decisão, como ocorre com o método de estudo de caso. Ou seja, no método de estudo de caso os alunos desenvolvem estratégias relevantes para solucionar o caso, coletando dados e informações que possam persuadir e sustentar seus pontos de vistas em uma discussão mais ampla sobre questões em pauta no caso.

A utilização do método de estudo de caso no ensino de ciências ainda é restrita. Porém, algumas iniciativas têm contribuído para a sua popularização em diversos países. No âmbito internacional é relevante a existência de seções nos periódicos *Journal of College Science Teaching* e *Journal of Chemical Education*, destinadas especialmente à divulgação de trabalhos relacionados a estudos de casos, assim como a promoção de eventos nos quais são tratados aspectos práticos da sua aplicação. Na Universidade de Buffalo, Estados Unidos, por exemplo, são realizadas anualmente conferências e escolas de verão sobre o método. Ademais, iniciativas pontuais, como as tomadas por professores universitários que elaboram casos para as suas disciplinas e os divulgam na internet, facilitam o trabalho de outros professores interessados em utilizar o método. De fato, o acesso a casos “prontos” exige que o professor apenas os adapte aos objetivos que pretende alcançar nas disciplinas que ministra, eximindo-o da incumbência de produzir os casos.

No ensino de química, em particular, ainda são poucas as iniciativas reportadas na literatura sobre a utilização de estudos de caso. Recentemente, Sá, Francisco e Queiroz (2007) realizaram uma revisão bibliográfica e localizaram 25 trabalhos sobre a temática, publicados nas revistas *The Chemical Educator* (janeiro de 1996 a abril de 2006), *Chemistry Education*

Research and Practice (setembro de 1997 a abril de 2006) e *Journal of Chemical Education* (janeiro de 1980 a abril de 2006). A análise dos trabalhos indicou que o método tem sido utilizado com maior frequência em disciplinas de química geral, principalmente com o intuito de introduzir princípios de química aos estudantes, e em disciplinas de química ambiental e físico-química. No caso das disciplinas de química ambiental, segundo as autoras, a quantidade considerável de trabalhos localizados pode estar relacionada ao fato de que, nesta subárea específica, são abundantes as possibilidades de abordagem de problemas do chamado “mundo real” dos estudantes, o que torna possível a discussão dos aspectos sociais, ambientais, econômicos ou éticos envolvidos no problema. No caso das disciplinas de físico-química, as autoras acreditam que a quantidade significativa de artigos que tratam de tópicos nela ministrados pode estar relacionada à existência de uma preocupação, por parte de professores desta disciplina, em utilizar estratégias que minimizem as grandes dificuldades que os alunos têm em compreendê-la.

Os trabalhos foram também analisados por Sá, Francisco e Queiroz (2007) com relação aos formatos empregados na aplicação dos casos. As autoras verificaram que os formatos de discussão e de pequenos grupos foram os mais utilizados no ensino de química. Cabe esclarecer que a análise foi realizada tendo em vista a definição de Herreid (1998a) sobre as maneiras de ensinar via utilização de casos, que são: ● *formato de tarefa individual*: neste formato o caso tem o caráter de uma tarefa que o aluno deve solucionar, que implica na elaboração posterior de uma explicação histórica dos eventos que conduziram à sua resolução; ● *formato de aula expositiva*: neste formato o caso tem a característica de uma história (caso) contada pelo professor aos seus alunos, de uma maneira muito elaborada e com objetivos específicos; ● *formato de discussão*: neste formato o caso é apresentado pelo professor como um dilema. Os alunos são questionados a respeito das suas perspectivas (sugestões) com relação à resolução do mesmo; ● *formato de atividades em pequenos grupos*: neste formato os

casos são histórias que devem ser solucionadas e dizem respeito ao contexto social e/ou profissional em que os alunos estão imersos. Uma característica essencial é que os casos são analisados por grupos pequenos de estudantes que trabalham em colaboração. Os estudantes lêem parte do caso em voz alta, a seguir discutem os elementos apresentados até esse ponto no caso, listam o que já sabem e elaboram uma agenda de aprendizagem – um conjunto de assuntos que eles concordam em pesquisar individualmente antes do encontro seguinte. Este processo se repete até a resolução do caso. O professor, neste contexto, desempenha um papel de facilitador durante as discussões, em vez de um papel didático e diretivo.

No que diz respeito à análise realizada pelas autoras quanto às impressões de alunos e professores sobre o uso do método, de modo geral, elas são favoráveis e apontam para um melhor entendimento dos alunos sobre conceitos embutidos nos conteúdos ministrados nas disciplinas dos cursos de graduação em química, assim como para o aprimoramento das habilidades de comunicação oral e escrita dos estudantes, de trabalho em grupo e de resolução de problemas.

São ainda pouquíssimos os trabalhos reportados na literatura nacional sobre o uso do método de estudo de caso no ensino de química. Localizamos em anais de congressos e em periódicos trabalhos relacionados ao seu uso em disciplina de comunicação científica (SÁ; QUEIROZ, 2007a) e de corrosão (VELLOSO, SÁ; QUEIROZ, 2007), oferecidas no Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, e em disciplina de tratamento de resíduos químicos de laboratório de ensino e pesquisa (ARAUJO; ABREU; IAMAMOTO, 2008), oferecida no Departamento de Química, da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Em todos os trabalhos analisados os alunos desenvolveram atividades em pequenos grupos e os autores enfatizaram o dinamismo conferido às disciplinas a partir da implementação do método e as habilidades que foram desenvolvidas pelos alunos, em especial a capacidade argumentativa.

2 OBJETIVOS

Neste trabalho nos juntamos ao rol de pesquisadores interessados em investigar atividades de ensino promissoras para fomentar a instauração do discurso argumentativo em ambientes de ensino de ciências - particularmente de química - e a qualidade dos argumentos produzidos pelos alunos a partir da realização de tais atividades. Acreditamos na relevância da investigação dos referidos aspectos para o progresso das discussões sobre a argumentação no ensino de ciências. Nesta perspectiva, colocamos em funcionamento uma proposta de ensino pautada na resolução de casos investigativos por alunos do curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, matriculados na disciplina SQF0338 - Corrosão e Eletrodeposição. Os casos foram propostos no formato de atividades em pequenos grupos e foram elaborados de maneira a exigir a consideração de aspectos sócio-científicos e científicos (conteúdos ministrados na referida disciplina) para as suas resoluções.

Temos como principal objetivo avaliar, a partir de episódios extraídos das aulas, a qualidade da argumentação dos alunos na apresentação da resolução dos casos e verificar em que medida a proposta de ensino estimulou a elaboração de argumentos. A identificação dos argumentos produzidos e de seus respectivos componentes foi realizada tomando como referencial teórico o modelo de argumento proposto por Toulmin (2001). Para a determinação da qualidade dos argumentos foi empregada a metodologia de análise propostas por Erduran, Simon e Osborne (2004).

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Para que a proposta de ensino descrita neste trabalho se concretizasse, foi necessária, inicialmente, a produção dos casos investigativos que seriam utilizados pelos alunos de graduação em química e, em seguida, a elaboração de questões que favorecessem o entendimento dos alunos a respeito de vários aspectos, de caráter científico e sócio-científico, presentes nos casos que os auxiliasse na tomada de decisão com relação à melhor resolução para os mesmos.

O trabalho de Herreid (1998b), *What Makes a Good Case?*, serviu de referencial para a produção dos casos investigativos. O Modelo Normativo do Processo de Tomada de Decisão, de Kortland (1996), apresentado no artigo *An STS case study about students' decision making on the waste issue*, por sua vez, subsidiou a elaboração das referidas questões.

Para a identificação dos componentes dos argumentos nos discursos dos alunos, foi empregado o Modelo de Toulmin (2001), presente no livro *Os Usos do Argumento*, enquanto a qualificação dos argumentos identificados foi realizada com base na proposta de análise de argumentos apresentada no trabalho de Erduran, Simon e Osborne (2004), *TAPping into argumentation: developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse*.

Os referenciais teóricos acima mencionados encontram-se descritos sucintamente a seguir.

3.1 Produção de casos investigativos, segundo Herreid (1998b)

Clyde Herreid, docente da Universidade de Buffalo, Estados Unidos, e um dos responsáveis pela popularização do método de estudo de casos em instituições de ensino de vários países, tem organizado, ao longo das duas últimas décadas, conferências e escolas de verão, que visam a capacitação de profissionais para empregá-lo. O livro *Start with a Story: The Case Study Method of Teaching College Science* (HERREID, 2006), de sua autoria, assim como vários artigos publicados, especialmente na revista *Journal of College Science Teaching*, foram elaborados com o mesmo propósito.

Segundo Herreid (1998b), são os seguintes os aspectos que devem ser levados em consideração na elaboração de "bom" caso:

- um bom caso narra uma história: o fim não deve existir ainda;
- um bom caso desperta o interesse pela questão: para que um caso pareça real, deve haver um drama, um suspense. O caso deve ter uma questão a ser resolvida;
- um bom caso deve ser atual: deve tratar de questões atuais, nas quais o estudante perceba que o problema é importante;
- um bom caso produz empatia com os personagens centrais: os personagens devem influenciar na maneira como certas decisões forem tomadas;
- um bom caso inclui citações: é a melhor maneira de compreender uma situação e ganhar empatia para com os personagens. Deve-se adicionar vida e drama a todas as citações;
- um bom caso é relevante ao leitor: os casos escolhidos devem envolver situações que os estudantes provavelmente saibam enfrentar. Isto melhora o fator empatia e faz do caso algo que vale a pena estudar;
- um bom caso deve ter utilidade pedagógica: deve ser útil para o curso e para o estudante;

- um bom caso provoca um conflito: a maioria dos casos é fundamentada sobre algo controverso;
- um bom caso força uma decisão: deve haver urgência e seriedade envolvida na resolução dos casos;
- um bom caso tem generalizações: deve ter aplicabilidade geral e não ser específico para apenas uma curiosidade;
- um bom caso é curto: os casos devem ser suficientemente longos para introduzir os fatos de um caso, mas não tão longos que provoquem uma análise tediosa.

O Quadro 3 ilustra um dos casos utilizados na disciplina Corrosão e Eletrodeposição. Alguns dos elementos recomendados por Herreid (1998b) como essenciais para a elaboração de um "bom" estão destacados no Quadro.

Quadro 3 - Caso *Corrosão em Aviões*.

3.2 Modelo Normativo do Processo de Tomada de Decisão de Kortland (1996)

Nas últimas décadas, pesquisadores na área de educação em química vêm chamando a atenção para a importância do desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão por parte dos alunos (SANTOS; MORTIMER, 2001; SANTOS; SCHNETZLER, 2003). Estudos vêm salientando que, em aulas dessa disciplina, os estudantes têm poucas oportunidades de debater sobre assuntos de seu interesse, relacionados à ciência. Na maioria das vezes é o professor quem fala e argumenta (SÁ; QUEIROZ, 2007b, SANTOS; MORTIMER; SCOTT, 2001). É de extrema importância que os jovens também tenham a oportunidade de participar e desenvolver seus próprios pensamentos e os relacionar a aspectos de caráter científico e sócio-científico, tornando-se mais críticos.

De acordo com Driver, Newton e Osborne (2000), a discussão de problemas de caráter científico e sócio-científico favorece o desenvolvimento de habilidades argumentativas dos estudantes, possibilitando o entendimento das bases epistemológicas do conhecimento científico, dos impactos das decisões científicas e a distinção entre questões que apresentam uma base científica e de outra natureza (ética, econômica, legal etc). Assim, é desejável que tomadas de decisão estejam presentes no processo de ensino-aprendizagem de ciências e que se vinculem a atividades que conduzam à argumentação em ambientes de ensino. Nessa perspectiva, Kortland (1996) elaborou o Modelo Normativo do Processo de Tomada de Decisão, ilustrado na Figura 2, no qual propõe uma série de etapas a serem cumpridas que auxiliem na elaboração de atividades escolares que visam a tomada de decisão por parte dos alunos.

Figura 2 - Modelo Normativo do Processo de Tomada de Decisão de Kortland (1996).

Considerando o Modelo Normativo de Kortland (1996), questões devem ser inicialmente apresentadas aos alunos no sentido de fazer com que eles identifiquem o problema a ser resolvido e desenvolvam critérios ou normas para a escolha da solução. Em seguida, uma série de alternativas que sejam viáveis para solucionar o problema deve ser gerada. Após a avaliação de todas as alternativas geradas, incluindo os custos, os benefícios e as possíveis consequências daquela ação no meio social, os alunos devem escolher a melhor decisão a ser tomada e estabelecer um plano de ação e monitoramento para a execução da proposta escolhida.

A discussão de questões pautadas nas etapas descritas no Modelo Normativo de Kortland (1996) pode favorecer o bom andamento das atividades dos alunos e possibilitar a melhoria de dois processos que estão intimamente interligados: a qualidade das decisões e da elaboração de argumentos. Nessa perspectiva, elaboramos questões nele baseadas, que foram solucionadas pelos alunos. Tais questões encontram-se apresentadas no Quadro 4, a seguir.

<p>Identificação do problema ↘ A- Assunto: Explicar em linhas gerais o assunto do caso e fazer um levantamento do que é necessário saber para solucioná-lo.</p> <p>Produção de critérios ↘ B- Pesquisa das características do problema: Apresentar quais os vínculos científicos que o caso apresenta: Classificação, tipo e composição das ligas. Meio corrosivo. Condições operacionais. Principais formas de corrosão nas ligas. Mecanismos dos processos corrosivos (se houver). Proteções contra corrosões.</p> <p>C- Julgamento de valor – gravidade do problema: Faça um julgamento da gravidade do problema descrito no caso. Justifique a resposta.</p> <p>Geração de alternativas ↘ D- Inventário de medidas: Que diferentes tipos de medidas normalmente são tomadas diante da situação apresentada no caso?</p> <p>Avaliação das alternativas ↘ E- Pesquisa das características das medidas: Vocês acreditam que as medidas acima citadas são suficientes para resolver o problema? Explique. Que outras medidas vocês consideram importantes e que deveriam ser tomadas?</p> <p>Escolha da solução ↘ F- Julgamento de valor da melhor solução: Que medidas vocês acharam mais adequadas para a resolução do caso? Explique detalhadamente as vantagens e desvantagens das opções escolhidas em relação às outras possíveis soluções.</p> <p>Ação ↘ G- Estabelecimento de um plano de ação: Estabeleçam um plano de ação, ou seja, apresentem a medida que vocês julgaram ser a mais adequada para a resolução do problema.</p> <p>H- Execução da decisão: Reunam todo o material que o grupo coletou sobre o caso e iniciem a estruturação da apresentação oral que será realizada pelo grupo.</p>
--

Quadro 4 - Questões elaboradas com base no Modelo Normativo de Tomada de Decisão de Kortland (1996).

A questão A foi elaborada com o intuito de favorecer a identificação do problema existente no caso; as questões B e C tratam de favorecer o processo de produção de critérios pelos alunos, por meio da análise das características do problema – a classificação e o tipo das ligas, o meio corrosivo, as condições operacionais, as principais formas de corrosão e seus mecanismos e as possíveis proteções contra corrosão – e do julgamento da gravidade do problema descrito no caso. As questões D e E estão relacionadas com a geração e a avaliação

de alternativas, respectivamente. Os itens F e G dizem respeito à escolha da melhor solução para o problema e a questão H está relacionada com a questão de ação.

3.3 Os usos do argumento (Toulmin, 2001)

Um instrumento de análise muito utilizado para investigar a argumentação científica produzida por alunos, no ensino de ciências, é o modelo de Toulmin (2001). Para Toulmin o argumento é como um organismo: tem uma estrutura bruta, anatômica, e outra mais fina e, por assim dizer, fisiológica. Segundo ele, quando explicitamente exposto em todos os seus detalhes, um só argumento pode precisar de muitas páginas impressas ou talvez um quarto de hora para ser narrado e, naquele tempo ou espaço, podem-se distinguir as fases principais que marcam o progresso do argumento a partir da afirmação inicial de um problema não-resolvido, até a apresentação final de uma conclusão. Cada uma dessas fases principais ocupará alguns minutos ou parágrafos e representa as principais unidades anatômicas do argumento, ou seja, “seus órgãos”. Nessa perspectiva, Toulmin apresenta no livro *Os Usos do Argumento* os elementos fundamentais de um argumento. Realiza este exercício através da colocação de perguntas e respostas, em uma conversa com o leitor, como explicitado nos tópicos 3.3.1 e 3.3.2.

3.3.1 O padrão de um argumento: dados e justificativas

Suponhamos que façamos uma asserção e por ela nos comprometemos com a alegação que toda asserção envolve necessariamente. Se esta alegação for desafiada, teremos de ser capazes de estabelecê-la, isto é, de prová-la e de mostrar que era justificável. A menos que a asserção tenha sido feita de modo totalmente irrefletido e irresponsável, normalmente teremos

alguns fatos que poderemos oferecer para apoiar nossa alegação. Se a alegação é desafiada, cabe a nós recorrer àqueles fatos e apresentá-los como o fundamento no qual se baseia nossa alegação. Temos, portanto, uma distinção entre a alegação ou a conclusão cujos méritos estamos tentando estabelecer (C) e os fatos aos quais recorreremos como fundamentos para alegação (D).

Se a pergunta do desafiador for “o que você tem para seguir em frente?”, uma resposta possível é apresentar os dados ou a informação em que se baseia a alegação, mas há outros modos de desafiar uma conclusão. Mesmo depois de serem apresentados os dados, pode ocorrer o surgimento de outro tipo de pergunta. Podem pedir que indiquemos a relação que os dados já apresentados têm com a conclusão.

Ao encontrar esse novo desafio, não temos que acrescentar dados adicionais, uma vez que, sobre eles, também se podem imediatamente levantar as mesmas dúvidas. É necessário apresentar proposições de um tipo bem diferente: regras, princípios, licenças de inferência etc, desde que não sejam novos itens de informação. A tarefa agora já não é reforçar a base sobre a qual o argumento foi construído, mas, em vez disso, mostrar que, tomando-se aqueles dados como ponto de partida, é apropriado e legítimo passar dos dados à alegação ou conclusão apresentada.

Nesse ponto, portanto, precisa-se de afirmações gerais, que sirvam como pontes, e autorizem o tipo de passo com o qual nos comprometemos em cada um dos argumentos específicos. Normalmente, este processo é escrito muito resumidamente, na expressão “se D, então C”, pode-se, contudo, expandi-la e reescrevê-la como: “Dados do tipo D nos dão o direito de tirar as conclusões C”, ou em outra formulação optativa, “Dados (os dados) D, pode-se assumir que C”. As proposições deste tipo são chamadas de justificativas (J), para distingui-las por um lado, das conclusões, e, por outro, dos dados.

Estes são os termos necessários para compor o primeiro esqueleto de um padrão para analisar argumentos. A seta representa a relação entre os dados e a alegação que eles apóiam; e a justificativa, escrita sob a seta, é o que autoriza a passar dos dados para a alegação.

O modelo obtido até aqui é só um começo. Podem surgir outras questões, as quais teremos de dar atenção. Há justificativas de vários tipos, e elas podem conferir diferentes graus de força às conclusões que justificam. Algumas justificativas autorizam a aceitar, sem equívoco, uma conclusão, sendo os dados apropriados. Essas justificativas dão o direito, em casos adequados, de qualificar uma conclusão com o advérbio “necessariamente”, outras autorizam a dar, provisoriamente, o passo dos dados para a conclusão, ou só dá-lo sob certas condições, com exceções ou qualificações. Para estes casos, há outros qualificadores modais mais adequados, como “provavelmente” e “presumivelmente”. Portanto, pode acontecer de não bastar que especifiquemos os dados, justificativa e conclusão. Pode ser preciso acrescentar alguma referência explícita ao grau de força que os dados conferem à conclusão em virtude da justificativa.

Considerando também essas características do argumento, o modelo terá de ser mais complexo. Qualificadores modais (Q) e condições de exceção ou refutação (R) são diferentes tanto dos dados como das justificativas e merecem um lugar separado no esquema. Os qualificadores modais (Q) indicam a força conferida pela justificativa a esse passo, e as condições de refutação (R) indicam circunstâncias nas quais se tem de deixar de lado a autoridade geral da justificativa. Para estas outras distinções podemos escrever o qualificador (Q) imediatamente ao lado da conclusão que ele qualifica (C); e as condições excepcionais,

capazes de invalidar ou refutar a conclusão justificada (R), imediatamente abaixo do qualificador. Agora o argumento assume a seguinte forma:

3.3.2 O padrão de um argumento: para apoiar nossas justificativas

Além da questão de se, ou em que condições, uma justificativa é aplicável em um caso particular, pode acontecer de nos perguntarem por que uma dada justificativa tem de ser aceita, em geral, como justificativa de autoridade. Em outras palavras, ao defender uma conclusão apresentamos os dados, a justificativa e as condições e qualificações relevantes e descobrimos que, contudo, o desafiador ainda não está satisfeito.

Desafiar uma conclusão específica pode levar a desafiar, de um modo mais geral, a legitimidade de toda uma série de argumentos. Por trás das justificativas, normalmente, haverá outros avais, sem os quais nem as próprias justificativas teriam autoridade ou vigência. Esses avais podem ser tomados como o apoio (B) das justificativas. Trata-se de uma alegação que dá suporte à justificativa, denominada “*backing*” (B) ou conhecimento básico. O “*backing*” é uma garantia baseada em alguma autoridade, um lei jurídica ou científica, por exemplo, que fundamenta a justificativa.

Abre-se um espaço para esse elemento adicional no modelo do argumento, escrevendo-o abaixo da afirmação da justificativa para a qual ele serve de apoio (B):

Essa forma proposta por Toulmin para o *layout* de argumentos foi por nós utilizada na análise dos argumentos produzidos pelos alunos quando apresentaram oralmente as resoluções dos casos.

Acreditando que a apresentação de um exemplo de análise de argumento, segundo este *layout*, facilitaria o entendimento do leitor sobre as características de cada um dos seus componentes, ilustramos na Figura 3 uma análise dessa natureza, extraída do artigo intitulado *The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implication for science teaching*, de autoria de Lawson (2003). No exemplo abaixo todos os componentes do modelo estão presentes, exceto o componente Refutação.

Figura 3 - Exemplo do modelo de argumento de Toulmin (2001) extraído do trabalho de Lawson (2003).

3.4 Metodologia de análise qualitativa dos argumentos, segundo Erduran, Simon e Osborne (2004)

Alguns estudos reportados na literatura buscam mecanismos capazes de fornecer indícios quanto à qualidade dos argumentos produzidos pelos alunos em cursos de ciências. Na metodologia proposta por Erduran, Simon e Osborne (2004) a qualidade dos argumentos é avaliada a partir da observação da combinação dos componentes do argumento, segundo Toulmin (2001), nas falas/textos escritos produzidos pelos alunos. Ou seja, as combinações que possuem um maior número de componentes são típicas de um argumento mais bem elaborado. Assim, um argumento que apresenta “conclusão-dado-justificativa” é menos sofisticado do que outro que tem apenas “conclusão-dado-justificativa-refutação”. Dessa maneira, sugerem combinações dupla, tripla, quádrupla ou quádrupla de componentes, como indicativas de ordem crescente de complexidade do argumento: CD (conclusão-dado); CJ (conclusão-justificativa); CDJ (conclusão-dado-justificativa); CDB (conclusão-dado-

backing); CDR (conclusão-dado-refutação); CDJB (conclusão-dado-justificativa-*backing*); CDJR (conclusão-dado-justificativa-refutação); CDJQ (conclusão-dado-justificativa-qualificador); CDJBQ (conclusão-dado-justificativa-*backing*-qualificador).

O Quadro 5, a seguir, ilustra, em ordem crescente de complexidade, de cima para baixo, possíveis arranjos dos componentes de um argumento.

CDJ	Conclusão / Dado / Justificativa
CDJB	Conclusão / Dado / Justificativa / <i>Backing</i>
CDJR	Conclusão / Dado / Justificativa / Refutação
CDJQ	Conclusão / Dado / Justificativa / Qualificador Modal
CDJBQ	Conclusão / Dado / Justificativa / <i>Backing</i> / Qualificador Modal
CDJBQR	Conclusão / Dado / Justificativa / <i>Backing</i> / Qualificador Modal / Refutação

Quadro 5 - Ordem crescente de complexidade de acordo com a metodologia de Erduran, Simon e Osborne (2004).

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa relatada nesta dissertação foi desenvolvida no Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo. Foram tomados como sujeitos 22 alunos matriculados na disciplina SQF0338 – Corrosão e Eletrodeposição¹ no primeiro semestre de 2007, sendo cinco do gênero feminino (22,73%) e 17 do gênero masculino (77,27%). A disciplina teórica, de quatro créditos, é oferecida no sétimo semestre, para os alunos do curso Bacharelado em Química, que fizeram a opção em Tecnologia com Ênfase em Materiais². Os conteúdos nela abordados são: revisão de conceitos termodinâmicos, processo de oxi-redução, potencial de eletrodo e pilhas eletroquímicas; formas e mecanismos básicos de corrosão e meios corrosivos; corrosão galvânica, eletrolítica, seletiva e microbiológica; velocidade de corrosão; efeito da temperatura; métodos de combate à corrosão: inibidores, revestimentos, proteção catódica e anódica.

No semestre em questão, aplicamos na referida disciplina uma proposta de ensino pautada na aplicação do método de estudo de caso, visando estimular a discussão de questões científicas, assim como sócio-científicas, e a elaboração de argumentos por parte de alunos de graduação em química.

Descrevemos a seguir as etapas de aplicação da proposta de ensino e os instrumentos de coletas de dados empregados.

¹ Disponível em: <http://sistemas2.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=SQF0338&verdis=1>. Acesso em 10. out. 2008.

² Disponível em: <http://sistemas.usp.br/urania/listarDiretorio?codctguol=128>. Acesso em 10. out.2008.

4.1 Produção dos casos e aplicação da proposta

A produção dos seguintes casos se fez necessária para que a proposta de ensino fosse colocada em funcionamento: *Corrosão em Aviões*, *Corrosão em Pontes*, *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* (APÊNDICE A). A produção dos casos se deu no formato proposto por Herreid (1998b), descrito no capítulo *Referenciais Teóricos* desta dissertação. Artigos, concernentes à temática corrosão, publicados em revistas científicas, subsidiaram a elaboração dos casos (APÊNDICE B). Estes foram elaborados de forma a favorecer a discussão tanto de questões de caráter científico, que propiciassem a aprendizagem de conteúdos específicos da disciplina, quanto de questões de caráter sócio-científico, vinculadas a aspectos sociais, ambientais, econômicos e/ou éticos.

No primeiro dia de aula, o professor informou aos alunos sobre as atividades didáticas programadas para o semestre. Com relação às atividades relacionadas aos casos investigativos, o professor destacou que os trabalhos seriam realizados em seis grupos distintos: quatro grupos formados por quatro alunos e dois grupos formados por três alunos.

Os casos foram distribuídos aleatoriamente, de modo que cada caso fosse estudado por dois grupos diferentes. Os grupos foram incumbidos de preparar uma apresentação oral sobre a resolução do caso que lhes havia sido atribuído, assim como um “diário do caso”, no qual deveriam deixar claro ao leitor o processo que os conduzira à resolução do caso, incluindo informações obtidas neste processo e reflexões sobre o seu andamento. Foi também solicitado a cada aluno a produção de um texto sobre o assunto envolvido em seu caso. Os alunos também tomaram conhecimento de que a qualidade dos argumentos apresentados para justificar a resolução dos casos seria um dos aspectos considerados na avaliação das apresentações orais.

Juntamente com os casos, os alunos receberam um “Guia para análise e resolução dos casos” (APÊNDICE C) e assistiram a três vídeos de curta duração, relacionados a cada um dos casos. A distribuição do Guia, com estrutura semelhante àquela utilizada por Waterman (1998), em seu trabalho intitulado *Investigative case study approach for biology learning*, tinha como objetivo auxiliá-los na discussão e análise dos casos, e a exibição dos vídeos tinha como objetivo motivá-los a resolver o caso.

Assim como Ferres (1996), acreditamos que o ambiente favorável criado pelo vídeo em sala de aula pode despertar o interesse dos alunos para a pesquisa e para o aprofundamento dos conteúdos programáticos que se relacionam com o tema apresentado. Nessa perspectiva, os vídeos relacionados aos casos *Corrosão em Aviões* e *Corrosão em Pontes* foram reeditados a partir de documentários exibidos em canais de televisão (APÊNDICE D) e o vídeo relacionado ao caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* foi editado com base em imagens presentes no *site You Tube* (APÊNDICE D).

Ferres (1988) salienta que o vídeo em sala de aula pode ser classificado em quatro modalidades: o vídeo-aula, o vídeo-investigativo, o vídeo-motivador e o vídeo-apoio. O vídeo-aula, também conhecido como vídeo didático ou educativo, é aquele em que uma aula tradicional é apresentada através do vídeo; o vídeo-investigativo é utilizado pelo professor quando ele tem a intenção de discutir com os estudantes algumas informações extraídas do vídeo que sejam pertinentes ao desenvolvimento do conteúdo da aula; o vídeo-motivador é, geralmente, exibido para os estudantes após o término de um trabalho e, além de apresentar conteúdos, esse tipo de vídeo interpela, questiona, desperta o interesse dos estudantes sobre um determinado assunto; o vídeo-apoio funciona como um conjunto de imagens que ilustram o discurso verbal do professor, como se fossem *slides* em movimento.

Considerando a classificação sugerida por Ferres (1988), o vídeo relacionado ao caso *Corrosão em Aviões* é do tipo vídeo-investigativo, pois algumas informações nele

apresentadas poderiam servir de apoio para a pesquisa a respeito da resolução do caso. O vídeo narra como foram realizadas as investigações por peritos responsáveis por detectar as causas do desastre aéreo ocorrido com o *Boeing 747-258F* da El Al Israel Airlines, ocorrido na Holanda, em 1992. Em contraponto, o vídeo relacionado ao caso *Corrosão em Pontes* é do tipo vídeo-motivador, uma vez que traz um breve histórico sobre a construção da ponte *Golden Gate* e poderia despertar o interesse dos alunos para resolverem o caso. Este vídeo narra alguns dos principais problemas que os técnicos responsáveis pela sua manutenção precisam enfrentar para evitar problemas associados à corrosão. O vídeo relacionado ao caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* é do tipo vídeo-apoio. Este vídeo não ilustra tão bem o assunto em foco no caso, como os demais. Apesar de termos procurado exaustivamente em diferentes canais televisivos, bibliotecas em locadoras de vídeos, não encontramos nenhum documentário a respeito. Assim, apenas reeditamos algumas imagens em movimento sobre aparelhos dentários retiradas do *site You Tube*. Esta modalidade de vídeo não aproveita as possibilidades expressivas da linguagem do audiovisual, apenas apresenta imagens ilustrativas sobre o tema em questão.

Com o intuito de apresentar a pesquisa em pauta aos alunos e esclarecê-los sobre as etapas envolvidas em um estudo de caso e sobre os componentes esperados em um argumento, fizemos uma breve apresentação sobre tais questões, também no primeiro dia de aula. Os *slides* por nós utilizados nesta apresentação encontram-se no Apêndice E. Concluída a nossa apresentação, os alunos, o professor e o estagiário PAE³ assinaram os termos de consentimento e informação para a realização da pesquisa (APÊNDICE F). Em seguida, cada um dos grupos fez uma leitura do caso com o qual iria trabalhar durante o semestre e procurou identificar o que já sabia sobre o caso, a partir de um levantamento dos dados apresentados no mesmo, e o que ainda precisava pesquisar para que a solução do caso fosse alcançada.

³ Disponível em: <http://www.fm.usp.br/cedem/pae/definicao.php>. Acesso em 14 out. 2008.

Depois da discussão inicial, foi solicitado que os alunos pesquisassem individualmente e trouxessem para as próximas reuniões do grupo materiais que pudessem ser úteis para solucionar o caso, tais como: artigos científicos, anotações feitas em sala de aula, textos extraídos de *sites* da internet etc.

As quatro reuniões seguintes, ocorridas no início do segundo bimestre, tiveram a duração de uma hora cada. Os grupos responderam às questões apresentadas no material “Instruções para a realização das atividades” (APÊNDICE G). Em cada reunião foram propostas duas questões presentes no referido material que propiciavam a abertura de um espaço para desenvolver a argumentação, a tomada de decisão e para sanar eventuais dúvidas sobre a solução dos casos. Os grupos podiam estabelecer a realização de reuniões extraclasse, caso julgassem necessário para o bom andamento do trabalho.

As soluções dos casos foram expostas em três sessões. Cada sessão teve o seguinte formato: dois alunos, pertencentes a dois grupos distintos que tinham a tarefa de resolver o mesmo caso, foram sorteados cinco minutos antes do início de apresentações orais consecutivas, na qual cada um deles argumentou a favor da melhor solução encontrada para o caso pelo seu grupo. O tempo estipulado para as apresentações foi de 15 a 20 minutos para cada grupo. Os demais alunos, o professor e o estagiário PAE assistiram às apresentações orais dos representantes dos grupos. Concluídas as apresentações, os membros de cada um dos dois grupos apontaram pontos fortes e fracos sobre a postura do apresentador do grupo oponente e os *slides* por ele apresentados (foram necessários 10 minutos para esta etapa). Em seguida, os membros dos dois grupos iniciaram um debate, com duração média de 30 minutos, por nós mediado, no qual tiveram a oportunidade de defender a solução encontrada pelo grupo e explicar melhor os motivos que os havia levado a escolher tal solução. Os membros da platéia também faziam perguntas aos integrantes dos grupos, se assim desejassem. Por fim, em um intervalo de aproximadamente 15 minutos, após a conclusão do

debate, o professor solicitou que os membros de cada grupo apresentassem suas impressões sobre a atividade realizada. Cada uma das sessões teve uma duração média de uma hora e meia.

4.2 Métodos de coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio dos seguintes procedimentos:

- Filmagem em DVDs das apresentações orais dos alunos sobre a resolução dos casos, incluindo o posterior debate realizado sobre a pertinência da solução encontrada para cada um dos casos e as impressões e sugestões dos membros de cada grupo sobre a atividade realizada. As falas dos alunos foram transcritas, de modo a preservar ao máximo as suas características originais para posterior análise. A transcrição das falas dos alunos durante as apresentações orais encontra-se no Anexo A;
- Solicitação de trabalhos escritos aos alunos, relacionados à resolução do caso, e a elaboração de um “diário de caso” para posterior análise;
- Aplicação de questionário sobre as percepções individuais dos alunos a respeito das habilidades adquiridas com o desenvolvimento da atividade. As respostas dos alunos a esse questionário foram reunidas, categorizadas e analisadas, com o intuito de avaliarmos a potencialidade da proposta no desenvolvimento de habilidades desejáveis em alunos de graduação e também com o intuito de buscarmos subsídios para o seu aprimoramento.

Cabe destacar que, dentre os dados coletados, apenas os trabalhos escritos produzidos pelos alunos, referentes à solução das questões baseadas no Modelo de Kortland (1996), não foram empregados como subsídio para a discussão da proposta de ensino.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho aplicamos uma proposta de ensino baseada no método de estudo de caso, tendo em vista a promoção do discurso argumentativo na disciplina Corrosão e Eletrodeposição, oferecida no curso de Bacharelado em Química do Instituto de Química de São Carlos, e analisamos os argumentos produzidos pelos alunos nela matriculados, assim como suas impressões sobre a referida proposta.

O trabalho dos alunos foi desenvolvido em grupos durante um bimestre. Ao final deste período, um integrante de cada grupo apresentou, oralmente, a solução encontrada para o caso, em um intervalo de 15 a 20 minutos. Os argumentos apresentados para justificar a escolha feita por cada um dos grupos para a solução do caso foram analisados do ponto de vista estrutural.

Considerando as observações de Driver, Newton e Osborne (2000) sobre a necessidade de incorporar o conhecimento específico do assunto à análise dos argumentos, uma vez que o modelo de Toulmin (2001) é útil para verificar a estrutura do argumento, mas não a sua validade, levamos também em conta esse tipo de conhecimento na análise dos argumentos produzidos pelos estudantes. Assim, para avaliar a pertinência, ou não, do conteúdo dos argumentos, consultas a distintas fontes de informação foram realizadas.

À semelhança do que tem sido feito por alguns autores (VILLANI; NASCIMENTO, 2003; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004), consideramos, para todos os casos, na análise dos argumentos: a forma como os estudantes relacionaram os diferentes componentes do argumento; o estabelecimento de justificativas para chegar às conclusões; se as justificativas se apoiavam em conhecimento básico ou não; a utilização de qualificadores e refutações durante a apresentação dos argumentos.

Uma vez que o Modelo de Toulmin (2001) foi utilizado para ilustrar os argumentos produzidos pelos estudantes, cabe lembrar os significados dos seus componentes: D (dado); J (justificativa); B (*backing*); R (refutação); Q (qualificador modal), C (conclusão).

A seguir, apresentamos a análise dos argumentos dos estudantes, para cada um dos casos solucionados.

5.1 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso *Corrosão em Aviões*

O caso *Corrosão em Aviões* trata da realização de um concurso, organizado pela Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (Embraer), que visa captar novos talentos e projetar a sua marca no mercado nacional. Um prêmio seria concedido aos participantes que apresentassem a melhor proposta a respeito de duas proteções contra corrosão, de pelo menos três tipos de liga de alumínio, que seriam utilizadas na construção das asas de um avião, que faria o percurso de São Paulo ao Rio de Janeiro. De acordo com as orientações do responsável pelo evento, os estudantes deveriam considerar, na escolha da liga, a sua integridade frente à fadiga e à corrosão.

As Figuras 4 a 12 ilustram os argumentos produzidos pelos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 1 e 2). Identificamos na apresentação oral do grupo 1 a formulação de seis argumentos, elaborados em diferentes etapas, até a resolução final do caso proposto.

O primeiro argumento do grupo 1, ilustrado na Figura 4, está relacionado às condições favoráveis à ocorrência de pontos de corrosão em aviões. Para tanto, o grupo apresentou uma justificativa e um *backing* a respeito das possíveis causas da corrosão do material.

Figura 4 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Em seguida, o grupo argumentou que, embora o alumínio fosse resistente à corrosão devido à formação de uma camada de óxido protetor, este não poderia ser aplicado diretamente em um avião. Para isso, utilizaram como justificativa a sua fragilidade e maleabilidade (Figura 5).

Figura 5 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

No terceiro argumento (Figura 6) o grupo apresentou um dado extraído das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que classifica as ligas de alumínio da série 1000 a 7000. Esses números indicam os tipos de metais que são adicionados a essas ligas de alumínio e as propriedades atribuídas por cada um deles. Comparando as diferentes ligas, o grupo concluiu que as mais adequadas seriam as da série 2000 e 7000. Algumas das justificativas empregadas para a escolha do grupo foram: elevada resistência mecânica, a relação resistência-peso muito bem determinada, dentre outras. Foi empregado ainda um *backing* que serviu de suporte para uma das justificativas.

Figura 6 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Após selecionar as séries, o grupo concluiu que as ligas AA2024, AA7175 e AA7445 eram as mais viáveis para o caso. O grupo usou como justificativa a boa relação resistência-peso apresentada pelas ligas, considerando ser este um fator preponderante na análise do material (*backing*) Dados a respeito do tratamento térmico dessas ligas também foram fornecidos pelo grupo (Figura 7).

Figura 7 - Esquema que representa o quarto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Dentre os três tipos de ligas selecionados, o grupo apresentou como conclusão a sua opção pela liga AA7475. As justificativas para tal escolha se devem ao fato da liga apresentar maior resistência-peso e um grande módulo de elasticidade (Figura 8).

Figura 8 - Esquema que representa o quinto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

No argumento ilustrado na Figura 9, o grupo apresentou uma conclusão geral a respeito dos procedimentos a serem adotados na resolução do caso. Além da escolha da liga AA7475, mencionada anteriormente, o grupo indicou ainda a utilização de uma proteção polimérica de ancoragem *Self-Assembled Monolayer* (SAM) e o uso de um bloqueador solar para prevenir a fotodegradação do polímero. Para os dois procedimentos foram utilizados justificativas e *backings*, que fundamentaram as suas opções. Identificamos nesse argumento a presença de um qualificador modal, quando o termo “preferencialmente” é utilizado para indicar a preferência do grupo por tais procedimentos, em detrimento de outras opções menos viáveis. Dados relacionados a diferentes tipos de proteção contra corrosão também foram mencionados pelo grupo.

Figura 9 - Esquema que representa o sexto argumento apresentado pelo grupo 1 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

O grupo 2, também responsável pela resolução do caso *Corrosão em Aviões*, formulou três argumentos durante o processo de solução do caso. Como podemos verificar no Figura 10, dados relacionados a diferentes tipos de ligas foram apresentados. Nesse argumento, os estudantes chegaram a duas conclusões consecutivas: a partir da primeira conclusão, selecionaram três tipos de ligas, consideradas viáveis para o caso e, a partir da segunda conclusão, optaram, dentre elas, pela liga AA2024. Como justificativa o grupo apresentou vantagens e desvantagens dos três tipos de ligas e salientou ainda que é mais viável obter uma liga com uma menor resistência à corrosão e maior resistência mecânica, do que o contrário, uma vez que é mais simples aumentar a resistência à corrosão por meio de métodos de tratamentos adequados, do que aumentar a resistência mecânica.

Figura 10 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

No argumento ilustrado na Figura 11, o grupo apresenta dados relacionados a diferentes tipos de proteção contra a corrosão: polianilina, alodinação (ALOD) e um filme obtido a partir de uma solução contendo íons de lítio, borato e alumínio (LBCC-POL-45),

sendo esta última a escolhida pelo grupo. Para justificar a opção, o grupo apresenta cinco justificativas, quatro delas fundamentadas em *backings*.

Figura 11 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

No terceiro argumento (Figura 12) o grupo reforça que a liga escolhida seria a AA2024 e a proteção seria o filme LBCC-POL-45. Como justificativa o grupo coloca algumas vantagens relacionadas à liga e ao filme. Das cinco justificativas colocadas pelo grupo, duas apresentam *backings*.

Figura 12 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 2 para a resolução do caso *Corrosão em Aviões*.

Os grupos 1 e 2 chegaram a conclusões distintas em relação à resolução apontada para o caso. O grupo 1 optou pela liga AA7475 e como proteção indicou a SAM, que proporciona uma melhor ancoragem do polímero, o dióxido de titânio como bloqueador solar, como forma de prevenir a fotodegradação do polímero escolhido e para o revestimento de parafusos, foi indicada a utilização de teflon e poliuretano. Em contraponto o grupo 2 optou pela liga AA2024 e como proteção indicou o filme LBCC-POL-45.

Do ponto de vista estrutural, os dois grupos fizeram um amplo uso de dados em sua argumentação. Verificamos também que os dois grupos fizeram um abundante uso de justificativas, que permitiram passar dos dados para a conclusão final. Algumas delas fundamentadas em conhecimentos básicos (*backings*). Apenas em um dos argumentos formulados pelo grupo 1, ilustrado na Figura 9, foi identificado o componente qualificador modal. Nenhuma refutação foi colocada por ambos os grupos.

As informações fornecidas pelos grupos responsáveis pelo caso foram analisadas e verificamos a sua coerência, de acordo com dados presentes em artigos científicos e em outras fontes fidedignas de pesquisa.

5.2 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso *Corrosão em Pontes*

O caso *Corrosão em Pontes* trata de um desafio que foi proposto pela companhia responsável pela administração da ponte *Golden Gate*, localizada na Califórnia, Estados Unidos. O desafio fazia parte de uma série de atividades realizadas para comemorar o septuagésimo aniversário da ponte e era destinado a estudantes de química interessados em investigações a respeito de corrosão em pontes metálicas. Os estudantes deveriam argumentar a favor de duas proteções, contra corrosão, de pelo menos três tipos de ligas de aço diferentes e da utilização de uma delas, como sendo a mais adequada para conter a degradação que ocorre na ponte.

As Figuras 13 a 19 ilustram os argumentos produzidos pelos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 3 e 4). Identificamos na apresentação oral do grupo 3, uma sequência de quatro argumentos.

No argumento ilustrado na Figura 13, o grupo 3 concluiu que na ponte *Golden Gate*, localizada entre as cidades de São Francisco e Sausalito, a corrosão ocorre, preferencialmente, por pites. Nesse argumento identificamos o uso de um qualificador modal, quando o grupo utiliza o termo “preferencialmente” indicando o tipo mais provável de corrosão que ocorre na ponte em questão, devido a fatores externos tais como o fato da ponte ser localizada em uma região marinha, rica em íons cloreto e por se tratar de um ambiente estagnado e suscetível às influências de temperatura e ocorrência de nevoeiros que, nessa área, são frequentes.

Figura 13 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Na Figura 14, o argumento apresentado pelo grupo diz respeito a uma seleção de aços de alta resistência e baixa liga, que poderiam ser utilizados na ponte, em especial as ligas A242, A588 e A715. Para tanto, o grupo utilizou duas justificativas relacionadas às vantagens apresentadas por tais ligas, ambas fundamentadas em *backings*.

Figura 14 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Embora o grupo tenha optado, no argumento anterior, por ligas que não necessitam de proteção contra a corrosão, os alunos acabaram indicando a galvanização a quente e o uso da polianilina com zinco, pelo fato de ter sido socilitada pelo professor a indicação de, pelo menos, duas proteções contra a corrosão de ligas de aços diferentes. Dados a respeito dessas

proteções foram apresentados e três justificativas foram empregadas para a escolha de tais proteções, duas delas acompanhadas de *backings* (Figura 15).

Figura 15 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

No argumento ilustrado na Figura 16, identificamos uma refutação usada pelo grupo ao concluírem que o uso da polianilina com o zinco é vantajoso, a menos que a polianilina não seja degradada pela radiação solar. Por conta dessa refutação, o grupo chega a uma segunda conclusão, que consiste na utilização de uma proteção solar de TiO_2 , além do uso de parafusos revestidos com teflon para inibir a formação do par galvânico e com isso diminuir a velocidade da corrosão.

Figura 16 - Esquema que representa o quarto argumento apresentados pelo grupo 3 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

As Figuras 17, 18 e 19 ilustram os três argumentos elaborados pelo grupo 4, identificados na apresentação oral sobre a solução do caso. No primeiro argumento identificado (Figura 17), o grupo inicia a solução do caso propondo a galvanização e a zincagem como métodos de proteção à corrosão, uma vez que a galvanização é um sistema de proteção que apresenta boa resistência e o zinco apresenta a capacidade de agir como um metal de sacrifício, sendo corroído ao invés do aço da ponte.

Figura 17 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

No segundo argumento identificado (Figura 18), a conclusão do grupo diz respeito a uma série de procedimentos que deveria ser realizada visando a proteção da ponte. Para a aplicação de tais medidas, quatro justificativas foram empregadas, uma delas acompanhada por *backing*.

Figura 18 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Tendo concluído a argumentação a respeito do tipo de proteção a ser utilizada, os alunos optaram pela liga de aço ASTM A572, de alta resistência e baixo teor de carbono (Figura 19). Eles justificaram essa escolha pelo fato desse tipo de aço apresentar uma nítida superioridade frente às demais ligas, tendo em vista as diversas vantagens apresentadas pelo material, no que diz respeito à fabricação, tratamento térmico e custo. Além disso, esse tipo de aço é capaz de suportar um maior volume de carga, considerando que o mesmo apresenta uma boa resistência mecânica. As duas justificativas apresentadas pelo grupo foram fundamentadas em *backings*.

Figura 19 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 4 para a resolução do caso *Corrosão em Pontes*.

Os grupos 3 e 4, responsáveis pela resolução do caso *Corrosão em Pontes*, também apresentaram diferentes conclusões. O primeiro optou por um grupo de ligas A242, A588 e A715, que seriam viáveis para a solução do caso, não se decidindo por apenas um tipo de liga. Além disso, indicou a galvanização a quente e para revestimento, a polianilina com zinco e o TiO_2 , para evitar a degradação solar. Em contraponto, o segundo grupo optou diretamente pelo uso da liga ASTM A572 e por utilizar a galvanização e a zincagem como sistema de

proteção. Além disso, sugeriu a realização de outros procedimentos relacionados à pintura e ao acabamento.

Quanto à estrutura dos argumentos, verificamos que os dois grupos utilizaram uma grande variedade de dados. Um considerável número de justificativas embasadas em *backings* foi empregado de maneira adequada. Apenas o grupo 3 utilizou elementos como qualificador modal e refutação, como podemos observar nos argumentos ilustrados nas Figuras 13 e 16, respectivamente.

Com relação ao conteúdo dos argumentos produzidos pelos grupos 3 e 4, constatamos a pertinência de todas as informações apresentadas, de acordo com dados presentes em artigos científicos e em outras fontes fidedignas de pesquisa.

5.3 Componentes do argumento identificados na apresentação oral sobre a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*

O caso intitulado *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* colocava os estudantes a par de um dos principais problemas enfrentados pela ortodontia, que é a questão da biocompatibilidade, no meio bucal, de novos materiais utilizados na correção da arcada dentária. Na descrição do caso, os alunos eram convidados a participar de um simpósio e, nessa ocasião, deveriam apresentar um trabalho indicando três tipos de ligas de aço, que poderiam ser utilizadas na elaboração de fios e molas metálicas de aparelhos ortodônticos e duas proteções, contra corrosão, para cada uma delas, argumentando a favor da utilização de uma das ligas. O organizador do evento destacou a importância da contribuição para o desenvolvimento de ligas metálicas alternativas, de modo a tornar os aparelhos ortodônticos mais acessíveis às populações desfavorecidas.

As Figuras 20 a 27 ilustram os argumentos identificados na apresentação oral dos dois grupos responsáveis pela resolução do caso (grupos 5 e 6). Na Figura 20 o grupo 5 concluiu que, nos materiais empregados no meio bucal, a corrosão por frestas ocorre com maior frequência, se comparada à corrosão por pites. A justificativa para essa conclusão é a grande quantidade de metais ligados, soldas etc, que geralmente estão presentes nos aparelhos ortodônticos.

Figura 20 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

O segundo argumento do grupo diz respeito à escolha da liga mais adequada para o caso (Figura 21). O grupo apresenta dados relacionados ao preço de diferentes metais que podem ser empregados em ligas utilizadas em aparelhos dentários, tais como ouro, prata, paládio e titânio. Após apresentar uma seqüência de três justificativas, uma delas complementada por um *backing*, o grupo conclui que o titânio é a opção mais viável para o caso proposto.

Figura 21 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

No argumento ilustrado na Figura 22, o grupo faz uma comparação entre dois métodos de proteção utilizados em materiais empregados no meio bucal: o revestimento com resina epóxi e com nitreto de titânio. O grupo concluiu que o revestimento com a resina epóxi apresenta um resultado mais satisfatório que o revestimento com nitreto de titânio. São apresentados dados a respeito dos dois tipos de revestimentos, no entanto, a justificativa para a conclusão do grupo está relacionada com o *breakdown* potencial, ou seja, a tensão de ruptura apresentada por ambos os revestimentos.

Figura 22 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 5 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Na apresentação da solução do caso pelo grupo 6, identificamos uma série de cinco argumentos. O primeiro deles (Figura 23) diz respeito à susceptibilidade das ligas, presentes em aparelhos dentários, à corrosão, uma vez que a saliva é um meio agressivo, devido à composição que ela apresenta.

Figura 23 - Esquema que representa o primeiro argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Comparando alguns tipos de ligas de aço, o grupo optou por utilizar as ligas de prata e paládio e paládio e prata, conhecidas como Porson 4 e LTG, respectivamente. A justificativa empregada para essa escolha está relacionada aos altos potenciais de corrosão apresentados pelas mesmas (Figura 24).

Figura 24 - Esquema que representa o segundo argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Ao optar pelas ligas de Porson 4 e LTG o grupo chegou à conclusão que não seria necessário o uso de filmes de revestimentos, tendo em vista que esses filmes poderiam elevar o custo do material, além da possibilidade de serem facilmente degradados no dia-a-dia (Figura 25).

Figura 25 - Esquema que representa o terceiro argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

No argumento ilustrado na Figura 26, o grupo concluiu que a melhor alternativa para o caso seria o uso de ligas metálicas. Para alcançar a conclusão ilustrada na Figura 26, uma refutação é colocada, quando o grupo considera que esta é válida, a menos que a soldabilidade das resinas ou fibras de vidro sejam determinadas ou apresentem propriedades físicas e químicas mais vantajosas que as ligas metálicas.

Figura 26 - Esquema que representa o quarto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

Na Figura 27, o grupo argumenta sobre a escolha final da liga a ser utilizada, que foi a Porson 4 de paládio e prata. Uma justificativa seguida de *backing*, relacionada ao potencial de corrosão apresentado pela mesma, foi empregada como forma de fundamentar a conclusão do grupo.

Figura 27 - Esquema que representa o quinto argumento apresentado pelo grupo 6 para a resolução do Caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*.

No que diz respeito à solução do caso *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal*, os dois grupos apresentaram conclusões distintas. O grupo 5 optou pela liga de titânio e pelo revestimento com resina epóxi. O grupo 6 considerou que a melhor alternativa seria o

uso de ligas que apresentassem altos potenciais de corrosão, e optaram pela liga Porson 4. Concluíram ainda que era desnecessária a utilização de filmes de revestimento, por questões econômicas e estruturais.

Quanto à estrutura dos argumentos, verificamos que os dois grupos fizeram uso de dados e justificativas que fundamentaram as suas conclusões. Identificamos apenas três argumentos na apresentação oral do grupo 5 e esses continham basicamente os elementos fundamentais que constituem um argumento, segundo Toulmin (2001): dado, justificativa e conclusão; com exceção apenas do esquema da Figura 21, que apresenta um *backing*. Na solução do grupo 6, identificamos uma sequência de cinco argumentos, que além dos elementos fundamentais também apresentam refutações e *backings*.

Em relação ao conteúdo dos argumentos dos grupos 5 e 6, constatamos que os dados fornecidos e as justificativas por eles apresentados são fundamentados em diversas pesquisas relacionadas ao assunto.

5.4 Componentes dos argumentos nos casos solucionados: uma análise comparativa

Na análise da qualidade dos argumentos apresentados pelos alunos para solução dos casos, adotamos a metodologia proposta por Erduran, Simon e Osborne (2004) e observamos as tendências nos discursos dos grupos, segundo a distribuição no TAP. A Figura 28 ilustra a porcentagem da frequência de vezes em que cada combinação ocorreu nas falas dos estudantes.

Figura 28 - Frequência do TAP nos argumentos produzidos pelos alunos na resolução dos três casos.

Na análise da frequência de combinações de elementos do argumento, identificadas nas apresentações orais dos grupos, ilustrada na Figura 28, verificamos que combinações do tipo CDJ, formadas pelos elementos fundamentais de um argumento, na visão de Toulmin (2001), ocorreram uma frequência de seis vezes durante as apresentações dos grupos. A combinação do tipo CDJB, situações em que um conhecimento básico é adicionado à argumentação com o propósito de fundamentar a justificativa, ocorreu numa frequência de 14 vezes. Esses números sugerem a habilidade dos alunos na utilização dos componentes fundamentais de um argumento, segundo o Modelo de Toulmin (2001) e a capacidade de recorrerem a combinações um pouco mais complexas, com a inserção do componente B (*backing*) em determinadas situações. Em contraponto, a combinação do tipo CDJR foi identificada apenas uma vez (Figura 16), na argumentação do grupo 3, responsável pela solução do caso *Corrosão em Pontes*. Argumentos com combinações mais complexas, como as do tipo CDJBQ e CDJBR, também ocorreram, porém em uma frequência menos significativa. A combinação do tipo CDJBQ ocorreu duas vezes, nos argumentos dos grupos 1 e 3, ilustrados nas Figuras 9 e 13, respectivamente. A do tipo CDJBR, ocorreu apenas uma

vez, no argumento do grupo 6, ilustrado na Figura 26. Acreditamos que a pouca ocorrência de combinações dessa natureza pode estar associada às dificuldades dos alunos em inserir em seus discursos elementos como refutações e qualificadores modais. Provavelmente tais dificuldades poderiam ser amenizadas caso discussões mais aprofundadas sobre a maneira como bons argumentos são elaborados tivessem sido introduzidas no decorrer da aplicação da proposta de ensino. Conforme mencionamos anteriormente, os alunos tomaram conhecimento dos componentes de um bom argumento, segundo o Modelo de Toulmin (2001), no primeiro dia de aula. Porém, nenhuma discussão mais aprofundada ou questionamentos sobre o Modelo foram elaborados na ocasião, nem tampouco posteriormente.

A partir da análise dos enunciados dos alunos sobre a solução dos casos, identificamos a ocorrência de argumentos com combinações variadas do TAP, para cada um dos casos propostos (Figura 29).

Figura 29 - Frequência de combinações do TAP para cada um dos três casos solucionados.

O número de argumentos identificados nas apresentações sobre as soluções dos três casos foi: *Corrosão em Aviões* (nove); *Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal* (oito); *Corrosão em Pontes* (sete). Também verificamos que as combinações mais complexas identificadas, duas vezes a do tipo CDJBQ e uma vez a do tipo CDJBR, foram empregadas

por três grupos com casos diferentes. Essas constatações nos levam a crer que não houve uma discrepância significativa quanto ao emprego dos diferentes tipos de combinação do TAP nos argumentos dos grupos responsáveis pela solução de casos distintos. Isto sugere que nenhum dos casos propostos, aparentemente, facilitou ou dificultou a formulação de argumentos, em relação aos demais. Constatação distinta foi alcançada por Sá e Queiroz (2007a) na aplicação de casos investigativos de caráter sócio-científico no ensino superior de química.

5.5 As percepções dos estudantes sobre a proposta de ensino aplicada

Para cada um dos casos, duas apresentações orais sobre a sua solução foram realizadas e, em seguida, um debate entre os dois grupos expositores da solução foi organizado. Concluído o debate, o professor solicitou a cada um dos membros dos referidos grupos que apresentassem as suas percepções sobre a proposta de ensino. No último dia de realização da atividade, todos os alunos responderam a um questionário sobre as habilidades que acreditavam (ou não) ter desenvolvido ou aperfeiçoado a partir da realização da mesma. Os comentários dos estudantes foram registrados em áudio e vídeo e suas falas foram transcritas e analisadas, assim como as respostas por eles apresentadas no questionário.

As percepções enfatizadas nos comentários dos alunos e a análise do questionário acerca da proposta servem de subsídio para a elaboração de atividades didáticas futuras e apontam para a sua potencialidade no ensino-aprendizagem de química. Segundo os alunos, a atividade favoreceu: a aprendizagem de conceitos relacionados à temática de corrosão, a capacidade de expressão em linguagem oral, a capacidade de localização e análise de referências bibliográficas, a capacidade de realização de trabalho em grupo.

Os comentários dos alunos, apresentados a seguir, ilustram as percepções por eles enfatizadas.

Estudos de casos e a aprendizagem de conceitos relacionados à temática de corrosão

No que diz respeito à aprendizagem de conteúdos científicos, os estudantes consideraram a experiência de trabalhar com casos investigativos proveitosa, uma vez que esta favoreceu a aquisição de novos conhecimentos e a revisão de conceitos discutidos anteriormente, no curso de química ou na disciplina de Corrosão e Eletrodeposição. Os seguintes comentários ilustram percepções dos alunos a respeito de tal aspecto:

“Não tinha tantos conhecimentos em termos de corrosão em ligas de alumínio, e pude compreender melhor os mecanismos e critérios de corrosão deste material”.

“Certamente, a atividade está intimamente vinculada com os conceitos da disciplina, forçando os alunos a recordá-los”.

Segundo Sá, Francisco e Queiroz (2007), a utilização do método de estudo de caso com o intuito de introduzir princípios de química tem ocorrido em cursos de graduação em química nos últimos anos, especialmente em disciplinas de química geral. Os comentários dos estudantes vêm ao encontro de percepções similares relatadas na literatura pelo alunado de disciplinas diversas.

Estudos de casos e a capacidade de expressão em linguagem oral

O aperfeiçoamento na capacidade de expressão em linguagem oral, segundo alguns alunos, foi também contemplado a partir da aplicação da proposta de ensino, como ilustram os comentários a seguir:

“Foi uma oportunidade para o meu desenvolvimento de comunicação oral em defesa de uma idéia de solução do caso”.

“Tenho muita dificuldade em expor minhas idéias e este trabalho me ajudou bastante”.

“O seminário de confronto de grupos é uma idéia muito interessante e promove o desenvolvimento pessoal dos alunos”.

Embora exista um relativo consenso a respeito da relevância de atividades didáticas que visam o desenvolvimento de habilidades de comunicação oral de alunos de graduação em

química, poucos são os trabalhos reportados na literatura nacional que remetem a esta questão. Em contraponto, Oliveira e Queiroz (2008) afirmam que são numerosos os artigos sobre o assunto em questão na literatura internacional e destacam a viabilidade do desenvolvimento de tais habilidades, mesmo em disciplinas específicas de química, como é o caso da disciplina Corrosão e Eletrodeposição, na qual a proposta de ensino aqui relatada foi aplicada.

Estudos de casos e a habilidade de localização e análise de referências bibliográficas

O aprimoramento da habilidade de busca de informações em fontes relevantes para os profissionais da química foi mencionado com frequência pelos alunos como tendo sido contemplado a partir da aplicação da proposta de ensino. As capacidades de buscar e selecionar informações são vitais para que a solução do caso seja alcançada com sucesso, segundo os alunos. A seguir são apresentados alguns comentários feitos pelos alunos a esse respeito:

“A busca de fontes bibliográficas é muito importante no ramo científico e tecnológico e a oportunidade de realizar e propor uma solução ao caso promoveu um treinamento nessa área”.

“Como futuros cientistas, o conhecimento das fontes (de pesquisas) e a maturidade intelectual são os pontos chaves para propor soluções inteligentes, práticas e até econômicas”.

“Na busca de informações são muitas as que aparecem, sendo a maioria inútil para a solução do caso. Com esse trabalho pude desenvolver melhor a habilidade para encontrar a informação útil para a solução do caso”.

É amplamente reconhecida a necessidade do oferecimento, durante o curso de graduação em química, de condições que façam com que os alunos se desloquem de uma posição de completa dependência com relação ao livro didático para outra posição que os capacite a procurar informações nas fontes primárias da área e criticá-las (EPLING; FRANCK, 1979; MASSI; SANTOS; QUEIROZ, 2008). Essa preocupação é compreensível, uma vez que as informações contidas nessas fontes são inestimáveis para a resolução de

muitos dos problemas que os alunos terão que enfrentar na carreira profissional, especialmente se optarem pela carreira acadêmica. Ações, como a realizada na disciplina Corrosão e Eletrodeposição, podem facilitar esse processo de transição, uma vez que exigem dos estudantes a busca e localização de documentos que reportam resultados originais de pesquisa e favorecem a sua conscientização sobre as peculiaridades da linguagem e do formato adotados pelos autores na redação destes documentos.

Estudos de casos e a capacidade de realizar trabalhos em grupo

Os estudantes salientaram também a relevância da atividade no desenvolvimento da capacidade de realização de trabalho em grupo, conforme ilustram os comentários a seguir:

“É muito difícil a realização de trabalhos em grupo, mas todos colaboraram para a realização de um objetivo comum. Ouvir, discutir e defender idéias em grupo promove um maior desenvolvimento pessoal”.

“A dinâmica com o grupo foi boa, bem proveitosa”.

Johnson, Johnson e Holubec (1999), no livro *Los Nuevos Círculos Del Aprendizaje*, salientam a importância da implementação em sala de aula de contextos que permitam aos alunos a realização de trabalhos em grupo. Segundo os autores, trabalhando em pequenos grupos os alunos podem interagir e compartilhar suas idéias, melhorando sua atividade individual e mútua. Nessa perspectiva, a proposta de ensino em questão, aparentemente, estabeleceu um contexto cooperativo em sala de aula. Os alunos foram motivados a solucionar seus próprios conflitos intelectuais ao mesmo tempo que reforçaram a aprendizagem formal transmitida pelo professor.

Com relação ao questionário anteriormente mencionado, este era composto de 10 afirmações e os alunos escolhiam, para cada uma delas, a alternativa que melhor descrevesse sua opinião. A frequência das respostas, expressa em escala Likert, foi quantificada e está indicada, em porcentagem, como CT (Concordo Totalmente), CP (Concordo Parcialmente), I

(Indeciso), DP (Discordo Parcialmente), e DT (Discordo Totalmente), na Tabela 1. As 10 afirmações contidas no questionário de avaliação estão também reproduzidas na referida Tabela.

Tabela 1 - Respostas dadas pelos estudantes ao questionário de avaliação da atividade realizada com estudo de casos. CT (Concordo Totalmente); CP (Concordo Parcialmente); I (Indeciso); DP (Discordo Parcialmente); DT (Discordo Totalmente).

ITENS	Frequência das respostas (%)				
	CT	CP	I	DP	DT
1. Desenvolvi minha capacidade de comunicação oral.	27,3	50,0	9,1	13,6	0,0
2. Desenvolvi minha capacidade de comunicação escrita.	31,8	36,4	18,2	4,5	9,1
3. Aprimorei meus conhecimentos a respeito do tema Corrosão e Eletrodeposição.	72,7	27,3	0,0	0,0	0,0
4. Desenvolvi minha capacidade de realizar trabalhos em grupo.	45,4	36,4	9,1	9,1	0,0
5. Desenvolvi a minha habilidade de investigação na busca de soluções para resolver problemas.	40,9	59,1	0,0	0,0	0,0
6. Desenvolvi a minha capacidade de argumentação diante de questionamentos.	54,6	31,8	4,5	9,1	0,0
7. Desenvolvi a minha capacidade de persuasão na apresentação das minhas conclusões.	41,0	31,8	13,6	13,6	0,0
8. Desenvolvi o meu entendimento sobre a forma como a ciência é construída. Ou seja, como os cientistas trabalham e produzem o conhecimento científico.	22,7	40,9	13,6	18,2	4,5
9. Desenvolvi a minha capacidade de solucionar problemas.	31,8	59,2	0,0	4,5	4,5
10. Desenvolvi a minha capacidade de tomar decisões diante de problemas da vida real.	40,9	40,9	4,5	9,2	4,5

Todos os 22 alunos matriculados na disciplina participaram da atividade com os casos e responderam o questionário proposto. Os dados resultantes da aplicação do questionário, de uma forma geral, foram distribuídos segundo a ocorrência das alternativas escolhidas nas questões. Este tipo de tratamento tem como principal objetivo oferecer parâmetros genéricos de análise e indicar tendências gerais apresentadas pelos alunos.

A análise da Tabela 1 reforça o reconhecimento, já expresso anteriormente por parte dos alunos nos comentários orais, do aprimoramento de algumas habilidades no decorrer do processo e traz algumas contribuições para o entendimento de outras habilidades contempladas, ou não, a partir da aplicação da proposta. Nos itens 1, 6 e 7, que se relacionam estreitamente ao aprimoramento das habilidades de comunicação oral, verifica-se que 77,3% dos estudantes no Item 1, 86,4% e 72,8% nos Itens 6 e 7, respectivamente, registraram respostas favoráveis (somatório das respostas Concordo Totalmente e Concordo Parcialmente). Isto sugere que as várias oportunidades de discussão oferecidas aos estudantes durante a aplicação da proposta contribuíram para o aperfeiçoamento das suas habilidades relacionadas à comunicação oral. No entanto, cabe observar a ocorrência de 9,1% de Indecisos e 13,6% de Discordo Parcialmente no Item 1, que podem ser creditadas ao fato de apenas um dos integrantes do grupo ter apresentado oralmente a resolução do caso. Ou seja, aparentemente alguns estudantes ficaram em dúvida, ou discordaram parcialmente, quanto ao desenvolvimento da habilidade mencionada neste item, uma vez que não tiveram a oportunidade de expor oralmente a resolução do caso.

No item 2, que se relaciona ao aprimoramento da habilidade de comunicação escrita, verifica-se que 68,2% dos estudantes registraram respostas favoráveis, 13,6% discordaram e 4,5 % não tinham opinião formada a respeito. Acreditamos que tal resultado seja devido à ênfase dada às apresentações orais durante a aplicação da proposta, fazendo com que esta não tenha sido entendida, por parte considerável dos alunos, como propiciadora de

aperfeiçoamento efetivo na sua habilidade de comunicação escrita. Em oportunidades futuras, acreditamos ser razoável que um maior destaque seja dado às atividades de produção dos textos, que são de grande valia para a formação dos estudantes e costumam ser pouco contempladas em cursos de graduação em química (SANTOS; SÁ; QUEIROZ, 2006).

Os itens 5, 9 e 10 estão vinculados ao desenvolvimento da capacidade de resolução de problemas e de tomada de decisão. Ou seja, à resolução de problemas da vida real, em que os estudantes, por meio de investigação, buscam soluções para os casos propostos. Nos três itens há um alto índice de respostas favoráveis: 100%; 91,0% e 81,8%. Acreditamos que esta alta porcentagem de respostas positivas reflete a ativa participação do alunado na busca de soluções para os casos.

O Item 3, em que o alunado expressa a sua opinião sobre os conhecimentos adquiridos a respeito da temática Corrosão, foi um dos poucos em que as respostas positivas foram unânimes (100% de somatório das respostas Concordo Totalmente e Concordo Parcialmente). As respostas indicam a alta potencialidade do método para o ensino de conteúdos científicos.

O Item 8, em que o alunado avalia a proposta frente à sua capacidade de favorecer o entendimento sobre a forma como a ciência é construída foi o que apresentou o maior número de respostas desfavoráveis, 18,2% (DP) e 4,6% (DT), respectivamente, e um número considerável de respostas de Indecisos, 13,6%. Este fato pode estar relacionado com a percepção dos alunos quanto à complexidade envolvida no processo de entendimento sobre a construção do conhecimento científico. De fato, estudos reportados na literatura apontam nesta direção e, para os graduandos de química, em particular, existem autores que mencionam a realização de estágios de iniciação científica como uma alternativa para o alcance do referido entendimento (QUEIROZ; ALMEIDA, 2004).

Quanto ao desenvolvimento da capacidade dos alunos em realizar trabalhos em grupo, obtivemos um total de 36,4% de concordância parcial e 45,4% de concordância total em

relação a esta questão. Estas percepções estão de acordo com a participação ativa de todos os membros do grupo, que observamos durante o debate, promovido após as apresentações orais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de propostas de ensino que favoreçam o aperfeiçoamento de habilidades de argumentação, trabalho em grupo e pensamento crítico tem sido apontado como altamente desejável no ensino de ciências, especialmente nas últimas décadas, por pesquisadores que salientam a importância de estratégias didáticas que possibilitam a integração das ciências na resolução de problemas reais (WATERMAN, 1998; SANTOS; MORTIMER; SCOTT, 2001; ZOHAR; NEMET 2002; VILLANI; NASCIMENTO, 2003; SÁ; FRANCISCO; QUEIROZ, 2007). Nesta perspectiva, aplicamos na disciplina de Corrosão e Eletrodeposição, ministrada no Instituto de Química de São Carlos, uma proposta de ensino pautada na aplicação de casos investigativos, na qual vídeos televisivos foram também empregados com o intuito de motivar os alunos a solucionarem os casos. Os alunos trabalharam em grupos organizados pelo professor responsável pela disciplina.

O processo de aplicação da proposta culminou com a apresentação oral das soluções encontradas pelos grupos para cada um dos casos e um posterior debate entre os membros dos grupos que haviam solucionado o mesmo caso. Nessas ocasiões os estudantes argumentaram sobre a pertinência das soluções, levando em consideração não só aspectos científicos como também aspectos sociais, políticos, econômicos e ambientais. A importância da integração desses aspectos em atividades didáticas realizadas em ambientes de ensino de ciências é consensual, uma vez que pode contribuir para uma melhor formação cívica dos estudantes (GIL-PEREZ et al., 2003).

Analizamos as argumentações dos estudantes, evidenciadas nas apresentações orais, com base no modelo de Toulmin (2001) e na metodologia de análise proposta por Erduran, Simon e Osborne (2004). Cabe destacar, inicialmente, que distinguir e identificar certos

componentes dos argumentos presentes nas falas dos alunos, tais como “dados” e “justificativas” ou “justificativas” e “conhecimentos básicos”, não foi uma tarefa fácil, uma vez que estes guardam entre si uma certa proximidade e relação. Tal dificuldade tem sido apontada por pesquisadores que trabalharam com o referido modelo, com o objetivo de determinar os componentes de um argumento (KELLY; DRUKER; CHEN, 1998; ERDURAN; SIMON; OSBORNE, 2004; SÁ; QUEIROZ, 2007a).

Com base na metodologia proposta por Erduran, Simon e Osborne (2004), verificamos a boa qualidade das argumentações apresentadas pelos grupos, grande parte delas apoiadas em justificativas e em *backings*. Por outro lado, a análise realizada mostra que a elaboração de argumentos com os componentes refutação e qualificador modal foi rara, apontando para uma necessidade, que já tem sido atendida em alguns países, sobre a importância de ensinar aos alunos a arte da argumentação, apresentando a eles os componentes do argumento e desenvolvendo estratégias que lhes permitam produzir argumentos bem elaborados.

No que diz respeito às soluções encontradas pelos grupos, todos os casos foram solucionados de maneiras distintas. O fato da natureza dos casos não exigir um método único e exato de solução e de apresentarem aos alunos situações contextualizadas na vida cotidiana, os caracteriza como problemas autênticos, na concepção de Duschl e Osborne (2002). O oferecimento de problemas dessa natureza aos alunos tem sido sugerido veementemente por pesquisadores da área de educação em ciências, o que evidencia a compatibilidade da proposta de ensino com tendências atuais da referida área.

A partir da análise dos "diários dos casos", da fala dos alunos nas apresentações orais e das referências bibliográficas citadas durante as referidas apresentações, verificamos que dentre os recursos empregados pelos alunos para subsidiar as suas argumentações, houve um predomínio de dados, justificativas e *backings* apresentados com base em informações provenientes de artigos científicos, teses, dissertações, anotações de aula e *sites* da internet.

Apenas dois grupos relataram ter enviado *e-mails* ou feito entrevistas com especialistas da área, provavelmente porque o próprio professor e o estagiário PAE, quando solicitados, responderam a contento suas dúvidas a respeito do tema.

Alguns membros dos grupos responsáveis pela solução dos casos *Corrosão em Aviões* e *Corrosão em Pontes* também lançaram mão de informações apresentadas nos vídeos televisivos para elaborar as apresentações orais e para responder questionamentos dos colegas durante o debate. Acreditamos que os vídeos televisivos não serviram simplesmente como um instrumento motivador na resolução dos problemas apresentados (ARROIO; GIORDAN, 2006), mas também facilitaram a organização das atividades e a busca de soluções para os casos.

Para nos certificarmos sobre a pertinência das colocações e respostas oferecidas pelos alunos para a solução dos casos consultamos livros, artigos, teses e *sites* que tratavam da temática Corrosão e também as bibliografias citadas nos “diários dos casos” dos grupos, assim como nos textos produzidos por cada um dos alunos. Para a realização dessa tarefa contamos com a colaboração do professor da disciplina Corrosão e Eletrodeposição, que supervisionou o nosso trabalho. Foi também bastante útil a nossa experiência, por um intervalo de cinco anos, como professora da disciplina Corrosão, na Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas, filiada ao Centro Paula Souza, em São Paulo. Na análise da fala dos alunos durante a apresentação das soluções para os casos não foram encontradas colocações ou respostas pouco pertinentes, levando-nos a concluir pela boa fundamentação das soluções oferecidas pelos alunos.

A natureza dos casos, aparentemente, não dificultou ou facilitou a sua solução pelos grupos. De fato, a qualidade das suas argumentações, considerando o aspecto estrutural, não foi muito distinta. Em contraponto, Sá, Francisco e Queiroz (2007), em trabalho sobre a

qualidade da argumentação dos alunos sobre questões sócio-científicas, verificaram que o tipo de caso a eles oferecido influenciou na qualidade da argumentação.

Nos debates ocorridos entre os grupos após as apresentações orais os questionamentos foram respondidos prontamente, o que sugere o engajamento dos estudantes durante a aplicação da proposta de ensino e a sua preocupação na busca de soluções pertinentes para o caso.

Considerando os esforços envidados pelos alunos na solução dos casos, a análise das apresentações orais, assim como a análise das respostas fornecidas no questionário de avaliação da proposta de ensino, concluímos que esta teve uma boa receptividade junto aos alunos e promoveu o aprendizado de conteúdos ministrados na disciplina em questão e a revisão de conteúdos ministrados em disciplinas que a antecedem. Assim, a proposta se mostrou compatível com os objetivos da disciplina e adequada para o desenvolvimento de habilidades de caráter formativo, como a argumentação, a comunicação oral, a busca em fontes bibliográficas e a realização de trabalho em grupo.

Por fim, embora a proposta tenha se concretizado na disciplina Corrosão e Eletrodeposição, acreditamos que pode ser adaptada a várias outras que compõem a grade curricular de cursos de química e também a disciplinas de química no ensino médio. A condição primordial para a sua adoção é a existência de casos que apresentem de forma contextualizada conteúdos contemplados nas disciplinas em questão. Esta condição pode ser atendida com maior ou menor facilidade, dependendo do conteúdo que se pretende trabalhar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, A. L. S.; ABREU, D. G.; IAMAMOTO, Y. Resíduos químicos e responsabilidade ambiental: relato de uma experiência pedagógica universitária. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 31., 2008, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Química, 2008. CD-ROM.

ARROIO, A.; GIORDAN, M. O vídeo educativo: aspectos da organização do ensino. **Química Nova na Escola**, n.24, p.8-11, 2006.

BARBOSA, R. M. N.; JÓFILI, Z. M. S. Aprendizagem cooperativa e ensino de química: parceria que dá certo. **Ciência e Educação**, v.10, n.1, p.55-61, 2004.

BROWN, H. D. **Teaching by principles**: an interactive approach to language pedagogy. New Jersey: Prentice-Hall, 1994, 480p.

CAPECCHI, M. C. V. M.; CARVALHO, A. M. P. Argumentação em uma aula de conhecimento físico com crianças na faixa de oito a dez anos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.5, n.3, p. 171-189, 2000.

CASTRO, C. E. R.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 18, n. 2, p. 275-284, 2000.

CHO, K.; JONASSEN, D. H. The effects of argumentation scaffolds on argumentation and problem solving. **Educational Technology Research and Development**, v.50, n.3, p.5-22, 2002.

CONANT, J. B. **The growth of the experimental sciences**: an experimental in general education. New Haven: Yale Univ. Press, 1949. 67p.

DRIVER, R.; NEWTON, P., Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. In: EUROPEAN SCIENCE EDUCATION RESEARCH ASSOCIATION CONFERENCE, 1997, Roma. **Resumos...** Roma: ESCRA, 1997, 1v.

DRIVER, R.; NEWTON, P. OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, v.84, n.3, p.287-312, 2000.

DUSCHL, R., La valoración de argumentaciones y explicaciones: promover estrategias de retroalimentación. **Enseñanza de las Ciencias**, v 16, n.1, p.3-20, 1998.

DUSCHL, R.; OSBORNE, J. Supporting and promoting argumentation in science education. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, p. 39-72, 2002.

EPLING, G. A.; FRANCK, R. W. Developing familiarity with the primary literature of chemistry: a student exercise. **Journal of Chemical Education**, v.56, n.6, p. 388-389, 1979.

ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. **Argumentation in science education**: perspectives from classroom-based research. New York: Springer, 2008. 294p.

- ERDURAN, S.; SIMON, S.; OSBORNE, J. TAPping into argumentation: developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. **Science Education**, v. 88, n. 6, p. 915-933, 2004.
- FERRES, J. **Cómo integrar el video en la escuela**. Barcelona: Ceac, 1988. 142p.
- _____. **Vídeo e Educação**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 156p.
- GIL-PEREZ, D.; VILCHE, A.; EDUARDES, M.; PRAIA, J.; VALDÉS, P.; VITAL, M. L.; TRICÁRIO, H.; RUEDA, C. A educação científica e a situação do mundo: um programa de atividades dirigido a professores. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 1, p.123-146, 2003.
- HERREID, C. F. Sorting potatoes for Miss Bonner. **Journal of College Science Teaching**, v. 27, n. 4, p.236-239, 1998a.
- _____. What makes a good case? **Journal of College Science Teaching**, v. 27, n. 3, p.163-169, 1998b.
- _____. **Start with a story: the case study method of teaching college science**. Arlington: National Science Teachers Association, 2006. 350p.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. Diseño curricular: indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v.16, n.2, p.203-216, 1998.
- _____. Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management. **International Journal of Science Education**. v. 24, n. 11, p. 1171-1190, 2002.
- JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R.T.; HOLUBEC, E. J. **Los nuevos círculos del aprendizaje**. Tradução Miguel Wald. Argentina: Aique Grupo Editor, 1999. 134p.
- KELLY, G. J.; DRUKER, S.; CHEN, C. Students' reasoning about electricity: combining performance assessments with argumentation analysis. **International Journal of Science Education**, v. 20, n. 7, p.849-871, 1998.
- KELLY, G. J.; TAKAO, A. Epistemic levels in argument an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. **Science Education**, v. 86, n. 3, p.314-342, 2002.
- KORTLAND, K. An STS case study about students' decision making on the waste issue. **Science Education**, v. 80, n. 6, p. 673-689, 1996.
- LAWSON, A. E. The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. **Internacional Journal of Science Education**, v. 25, n. 11, p.1387-1408, 2003.
- MALDANER, O. A. A pesquisa como perspectiva de formação continuada do professor de química. **Química Nova**, v. 22, n. 2, p. 289-292, 1999.
- MASSI, L.; SANTOS, G. R.; QUEIROZ, S. L. Artigos científicos no ensino superior de

ciências: ênfase no ensino de química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p.157-177, 2008.

NEWTON, P.; DRIVER, R.; OSBORNE, J. The place of argumentation in the pedagogy of school science. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 5, p.553-576, 1999.

NUSSBAUM, M. E. Scaffolding argumentation in the social studies classroom. **The Social Studies**, v. 93, n. 2, p.79-83, 2002.

OLIVEIRA, J. R. S; QUEIROZ, S. L. Considerações sobre o papel da comunicação científica na educação em química. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p.1263-1270, 2008.

OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; SIMON, S. Enhancing the quality of argumentation in school science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 10, p.994-1020, 2004.

PATRONIS, T.; POTARI, D.; SPILIOTOPOULOU, V. Students' argumentation in decision-making on a socio-scientific issue: implications for teaching. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 7, p.745-754, 1999.

QUEIROZ, S. L.; ALMEIDA, M. J. P. M. Do fazer ao compreender ciências: reflexões sobre o aprendizado de alunos de iniciação científica em química. **Ciência e Educação**, v. 10, n. 1, p.41-53, 2004.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Estudos de caso em química. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p.731-739, 2007.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, S.L. Argumentação no ensino superior de química: investigando uma atividade fundamentada em estudos de casos. **Enseñanza de las Ciencias**, v.extra, p.1-5, 2005.

_____. Promovendo a argumentação no ensino superior de química. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p.2035-2042, 2007a.

_____. Argumentação no ensino superior de química: reflexões a partir das interações estabelecidas em sala de aula. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007b. CR-ROM.

_____. Concepções de professores de química sobre procedimentos de ensino capazes de promover a argumentação no nível superior. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 30., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Química, 2007c. CD-ROM.

SAMPSON, V; CLARCK, D. B. B. Assessment of the ways students generate arguments in science education: current perspectives and recommendations for future directions. **Science Education**, v. 92, n. 3, p.447-472, 2008.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2001.

- SANTOS, W. P.; MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. A argumentação em discussões sócio-científicas: reflexões a partir de um estudo de caso. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 1, p.140-152, 2001.
- SANTOS, G. R.; SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. Uso de artigos científicos em uma disciplina de físico-química. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p.1121-1128, 2006.
- SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. Rio Grande do Sul: Unijuí, 2003. 144p.
- SHERFIELD, R. M.; MONTGOMERY, R. J.; MOODY, P. G. **Case studies for the first year: an odyssey into critical thinking and problem solving**. New Jersey: Pearson, 2004. 266p.
- SIMON, S.; ERDURAN, S.; OSBORNE, J. Learning to teach argumentation: research and development in the science classroom. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 2-3, p.235-260, 2006.
- SIMONNEAUX, L. Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 9, p.903-927, 2001.
- TOULMIN, S. E. **Os Usos do Argumento**. Tradução Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes, 2001. 375p.
- VAN EEMEREN, F. H.; GOOTENDORST, R. **Argumentation, communication, and fallacies**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1992, 256p.
- VELLOSO, A. M. S.; SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. Casos investigativos no ensino do tópico "corrosão". In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. CD-ROM
- VILLANI, C. E. P.; NASCIMENTO, S. S. A argumentação e o ensino de ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 3, p.187-209, 2003.
- VOSS, J. F.; MEANS, M. Learning to reason via instruction in argumentation. **Learning and Instruction**, v. 1, n. 4, p.337-350, 1991.
- WATERMAN, M. A.; Investigative case study approach for biology learning. **Bioscene – Journal of College Biology Teaching**, v. 24, n. 1, p.3-10, 1998.
- ZANON, D. A. V.; OLIVEIRA, J. R. S.; QUEIROZ, S. L. Necessidades formativas de professores de química no ensino superior: visões de alunos de pós-graduação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. **Anais ...** Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007. CD-ROM.
- ZOHAR, A.; NEMET, F. Fostering students' knowledge and argumentation skills through

dilemmas in human genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, n. 1, p.35-62, 2002.

ZUCCO, C.; PESSINE, F. B. T. ; ANDRADE, J. B. Diretrizes curriculares para os cursos de química, **Química Nova**, v. 22, n. 3, p. 454-461, 1999.

APÊNDICE A – CASOS INVESTIGATIVOS UTILIZADOS NA PROPOSTA DE ENSINO

Corrosão em Aviões

A Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica S. A.) pretende lançar nos próximos anos um novo avião que fará o percurso de São Paulo ao Rio de Janeiro. O químico Maurício Botelho foi encarregado de divulgar um concurso que premiará alunos matriculados em cursos de graduação em Química (e áreas correlatas) que apresentarem as melhores propostas com relação à liga de alumínio que estará presente na construção das asas do avião.

Em recente entrevista Maurício afirmou que o concurso visa captar novos talentos e projetar a marca da Embraer no mercado nacional. Segundo ele, os estudantes devem considerar especialmente a integridade da liga sugerida face à fadiga e à corrosão, uma vez que estas podem causar fraturas, que resultam em grandes prejuízos para as companhias aéreas. A título de exemplo, o químico citou os acidentes aéreos ocorridos no Havaí (*Boeing 737-200*, Aloha Airlines), em 1988, e na Holanda (*Boeing 747-258F*, El Al Israel Airlines), em 1992.

Para enfatizar a relevância econômica da questão em foco no concurso Maurício mencionou ainda que os gastos da *National Association of Corrosion Engineer* (EUA), relacionados a assuntos que envolvem a corrosão de materiais em aviões, giram, anualmente, em torno de 2 bilhões de dólares.

Você e o seu grupo irão participar do concurso e apresentarão uma proposta na qual indicarão duas proteções contra corrosão de pelo menos três tipos de liga de alumínio e argumentarão a favor da utilização de uma delas.

Corrosão em Pontes

Em artigo publicado no periódico *Arquitextos*, o engenheiro Ricardo Henrique Dias, docente da PUC-Paraná, nos lembra que, dentre os desafios que a engenharia de estruturas enfrenta, um dos maiores relaciona-se à concepção de sistemas seguros e economicamente viáveis para estabilizar grandes vãos projetados pela arquitetura. Segundo ele, a maior aplicação dos grandes vãos acontece nas estruturas de pontes ou "obras-de-arte". Embora existam exemplos de construções dessa natureza espalhadas pelo mundo inteiro, a Ponte *Golden Gate*, localizada no Estado da Califórnia, nos Estados Unidos, que liga a cidade de São Francisco a Sausalito, na região metropolitana de São Francisco, é uma

das mais famosas.

Com 1280 metros de comprimento, a *Golden Gate* levou quatro anos para ser construída. Era a maior ponte suspensa do mundo quando foi inaugurada, em maio de 1937 (hoje, esta posição é ocupada pela japonesa Akashi-Kaikyo, de 1991 metros). Sua estrutura metálica integra a beleza natural à beleza feita pelo homem e tem superado desafios como ventos, neblina, fúria do mar e terremotos (incluindo o devastador terremoto de 7.1 na escala Richter, em 1989). No entanto, muitos admiradores da obra não imaginam a dimensão de um outro tipo de desafio, que precisa ser superado diariamente pela equipe responsável pela contenção da degradação que ocorre em sua estrutura metálica: o aço, nela utilizado, produzido pela *Bethlehem Steel Company*, precisa ser constantemente pintado visando a minimização dos efeitos da corrosão, uma vez que as condições climáticas que a circundam são extremamente favoráveis ao desencadeamento deste processo.

No corrente ano a *Golden Gate* completa seu septuagésimo aniversário. Dentre as atividades que serão realizadas para comemorar a data destaca-se um desafio, que foi colocado na página da internet da *Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District*, companhia responsável pela administração da ponte, para todos os estudantes de Química interessados em investigações a respeito de corrosão em pontes metálicas. Vencerão o desafio os estudantes que apresentarem os melhores projetos indicando proteções de corrosão para ligas de aço e que argumentarem adequadamente a favor da utilização das mesmas na estrutura da *Golden Gate*. Kevin Dellarocca e Barbara Stampfli, funcionários da companhia, divulgarão, no início do mês de julho, o nome dos vencedores.

Você e seu grupo deverão enviar um projeto que responda ao desafio proposto pela *Golden Gate Bridge, Highway and Transportation District* e indicarão duas proteções contra corrosão de pelo menos três tipos de ligas de aço diferentes e argumentarão a favor da utilização de uma delas.

Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal

Investigar a biocompatibilidade, no meio bucal, de novos materiais que possam ser utilizados na correção da arcada dentária, (resistentes à corrosão, a solicitações mecânicas e a reações alérgicas de alguns pacientes mais sensíveis a íons metálicos) é um dos principais desafios de pesquisadores de diversas áreas.

A relevância do tema é freqüentemente destacada pela Associação Americana de Ortodontia. É sabido que desde o início desta década são tratados nos Estados Unidos, anualmente, em torno de dois milhões de novos pacientes com problemas dentários, sendo que cerca de três mil são alérgicos a algum tipo de metal presente no material utilizado no tratamento do problema. Nesta perspectiva, a Pró-Reitoria de Graduação da USP promoverá o I Simpósio Interdisciplinar Sobre Materiais Empregados no Meio Bucal. Este tem como objetivo estimular, entre os estudantes dos cursos de Química, Engenharia e Odontologia, o estudo sobre diversos aspectos relacionados a materiais empregados no meio bucal. Os estudantes de Química, em particular, se dedicarão ao estudo de ligas de aço que possam ser úteis na confecção de aparelhos dentários.

O Professor Barroso de Lima (responsável pela organização do evento), em entrevista concedida para a Rádio USP, destacou que o Simpósio, de caráter interdisciplinar, visa tanto a aquisição de um amplo leque de conhecimentos por parte dos graduandos, como a integração entre os mesmos. Acredita ainda que os trabalhos que serão apresentados poderão vir a contribuir para o desenvolvimento de ligas metálicas alternativas, capazes de tornar os aparelhos ortodônticos mais populares e com um bom desempenho clínico, diminuindo assim os problemas de saúde bucal das populações desfavorecidas.

Dia 12 de abril é o prazo final para entrega dos trabalhos dos graduandos que queiram participar do I Simpósio Interdisciplinar Sobre Materiais Empregados no Meio Bucal. A cerimônia de premiação, na qual o melhor trabalho de cada área será apresentado oralmente, já tem data marcada: 30 de junho de 2007. Maiores informações sobre as normas para apresentação dos trabalhos e sobre o valor dos prêmios podem ser encontradas no *site* <http://naeg.prg.br/sitemateriaismeiobucal>.

Você e seu grupo irão participar do Simpósio, representando o Instituto de Química de São Carlos. Para tanto, deverão apresentar um trabalho, pautado na indicação de três tipos ligas de aço, que poderão ser utilizadas na elaboração de fios e molas metálicas de aparelhos ortodônticos e apresentarão duas proteções para cada uma delas contra a corrosão (biofilmes). Em seguida, argumentarão a favor da utilização de uma das ligas.

APÊNDICE B – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS QUE SERVIRAM COMO BASE PARA ELABORAÇÃO DOS CASOS

Caso Corrosão em Aviões

BILL, S. Structural failure: the search for prevention. **Air Transportation World**, v. 30, n. 3, p. 38-44, 1993.

HUANG, T. S.; FRANKEL, G. S. Kinetics of sharp intergranular corrosion fissures in AA7178. **Corrosion Science**, v. 49, p. 858-876, 2007.

ROSSIER, R. N. Aircraft corrosion: a pilot's perspective. **Business & Commercial Aviation**, v. 91, n. 4, p. 58-66, 2002.

Caso Corrosão em Pontes

BJERKLIE, B. S. Rust Never Sleeps: Keeping the Golden Gate Bridge covered with paint is a major challenge for crews, management, and coatings systems. **Metal Finishing**, v. 104, n. 2, p. 33-36, 2006.

KUHLMANN, U. Steel bridges. **Progress in Structural Engineering and Materials** v. 1, n. 1, p. 42-49, 1997.

Caso Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal

ACCIARI, H. A.; GUASTALDI, A. C.; BRETT, C. M. A. Resistência à corrosão das fases presentes em amálgamas dentários. **Eclética Química** v. 26, p. 125-142, 2001.

ELIADES, T.; PRATSINIS, H.; KLETSAS, D.; ELIADES, G.; MAKOU, M. Characterization and cytotoxicity of ions released from stainless steel and nickel-titanium orthodontic alloys. **American Journal Orthodontics and Dentofacial Orthopedics** v. 125, n. 1, p. 24-29, 2004.

KUSY, P. R. Clinical response to allergies in patients **American Journal Orthodontics and Dentofacial Orthopedics** v. 125, n. 5, p. 544-547, 2004.

WAHL, N. Orthodontics in 3 millennia. Chapter 5: The american board of orthodontics, Albert Ketcham, and early 20th-century appliances. **American Journal Orthodontics and Dentofacial Orthopedics** v. 128, n. 4, p. 535-540, 2005.

APÊNDICE C – GUIA PARA ANÁLISE E RESOLUÇÃO DOS CASOS

Os estudantes devem considerar os seguintes itens após a leitura do caso:

- 1- Reconhecer assuntos em potencial: listar termos ou frases que pareçam ser importantes para compreensão do que o caso aborda.
- 2- Fazer levantamento de conexões por meio de tempestade mental: apresentar respostas para as seguintes questões:

O que nós sabemos sobre o caso?	O que nós ainda precisamos saber para solucionar o caso?

- 3- Obter fontes ou referências adicionais para ajudar a responder ou explorar as perguntas: estes podem conter materiais impressos, artigos, banco de dados, resultados de simulações etc. O material coletado deve ser trazido para as aulas dos dias 12/04, 13/04, 19/04 e 20/04, quando o grupo será requisitado para responder questões relacionadas ao caso.
- 4- Projetar e conduzir investigações científicas relevantes para as perguntas: estas podem utilizar métodos laboratoriais ou de pesquisa de campo apropriada (entrevista com especialista da área), ou talvez computadores com módulos de software, gráficos, etc.
- 5- Produzir material que demonstre o entendimento das conclusões: fazer uma apresentação oral de 20 minutos (atividade em grupo), argumentando a favor da resolução escolhida para o caso. Além da apresentação, cada aluno deverá produzir um texto argumentativo sobre a resolução do caso (atividade individual). O texto deverá ser escrito em fonte Times New Roman, tamanho 12, espaçamento 1,5 e ter no mínimo 2000 palavras. A inserção de figuras e tabelas é permitida. O texto deve ser disponibilizado para o professor em disquete.
- 6- Produzir um “diário do caso”: especificar com detalhes todas as etapas percorridas até a resolução do caso: busca em fontes bibliográficas, entrevista com profissionais, reuniões do grupo, discussões ocorridas, experiência em laboratório. Anexar as fontes que serviram de referência durante a investigação do caso. Imprimir e anexar no diário do caso os *slides* (seis por folha) e colar no diário. O diário do caso deverá estar

sempre atualizado para que o professor e as estagiárias possam acompanhar o andamento dos trabalhos.

ATENÇÃO: A apresentação oral e o texto argumentativo deverão servir para persuadir os colegas de suas idéias e evidenciar a compreensão das suas conclusões e suas habilidades argumentativas.

APÊNDICE D – REFERÊNCIAS DOS DOCUMENTÁRIOS TELEVISIVOS QUE SERVIRAM COMO BASE PARA A REEDIÇÃO DOS VÍDEOS

Caso Corrosão em Aviões

PROGRAMA: Maravilhas Modernas: Desastres da Engenharia – *Boeing 747 – 258F El Al*
Israel Airlines – Holanda 1992
CANAL: The History Channel
DATA: 10/01/2007
TEMPO DO PROGRAMA: 1 hora
TEMPO DA REEDIÇÃO: 7' 46''

Caso Corrosão em Pontes

PROGRAMA: Megastructures – Obras incríveis – *Golden Gate Bridge*
CANAL: National Geographic Channel
DATA: 06/02/2007
TEMPO DO PROGRAMA: 1 hora
TEMPO DA REEDIÇÃO: 8' 44''

Caso Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal

YOU TUBE – <http://br.youtube.com/watch?v=UJrJNQ6wT9Q>
YOU TUBE - <http://br.youtube.com/watch?v=IEHP4e61G9s>
TEMPO DE REEDIÇÃO: 2' 46''

APÊNDICE E – SLIDES DA APRESENTAÇÃO DA AULA SOBRE ESTUDOS DE CASOS

Corrosão e Eletrodeposição
Prof. Dr. Artur J. Motheo

Estudo de Casos

Mestranda: Ana Maria Velloso
Prof.ª. Dr.ª. : Salete Linhares Queiroz

1

- O que é Estudo de Casos?
- Um exemplo: O Caso dos Coqueiros
- Guia para Análise e Resolução de Casos
- Resoluções Para o Caso
- Consideração Sobre a Resolução do Caso (Argumentação)
- Cronograma das atividades que serão desenvolvidas.

2

O que é Estudo de Casos?

- O método do caso constitui-se numa metodologia de ensino participativa, voltada para o envolvimento do aluno. Os casos apresentam situações onde os alunos precisam tomar decisões sobre um determinado dilema.
- A condução do método envolve um processo de discussão, no qual o aluno deve se colocar no lugar do tomador de decisões, gerando e avaliando alternativas para o problema.

3

- Os estudantes trabalham colaborativamente para identificar assuntos e formular perguntas de seu interesse, e então identificar e gerenciar informações adicionais em resposta a suas perguntas.
- Na aprendizagem baseada em casos, os estudantes coletam dados e informações para fornecer sustentação para suas conclusões, e trabalham para persuadir os outros de seus achados.

Argumentação

4

A praga do Coqueiro

O caso “Praga do Coqueiro” colocava os estudantes a par de uma praga que estava atacando os coqueiros de uma região litorânea do Estado de Alagoas, no Nordeste Brasileiro. A doença nos coqueirais havia sido desencadeada pela ação de um besouro, principal agente transmissor do nematóide responsável pela doença do anel vermelho, que matava os coqueiros e se espalhava por toda a plantação, ameaçando a principal fonte de renda dos moradores da região.

Como estudantes de química, cabia aos três grupos responsáveis pela resolução desse caso, a missão de investigar o problema, procurar possíveis alternativas de solução, apontar uma delas como sendo a mais viável e argumentar a favor da mesma.

Dissertação Sá, L.P. – A argumentação no ensino superior de química: investigando uma atividade fundamentada em estudos de casos

5

Guia para Análise de Casos

- Reconhecer assuntos em potencial: Listar termos ou frases que pareçam ser importantes para compreensão do que o caso aborda.
- A doença do anel vermelho é desencadeada pela ação de um nematóide transmitida pelos besouros nos coqueirais.
- A doença mata os coqueiros e se espalha pela região.
- A doença ameaça a principal renda dos moradores da região.

6

O que nós sabemos sobre o caso?	O que nós ainda precisamos saber para solucionar o caso?
<ul style="list-style-type: none"> O besouro hospeda o nematóide responsável pela doença dos coqueiros. A doença ameaça a principal renda dos moradores da região. 	<ul style="list-style-type: none"> O ciclo de vida do nematóide. Quais são os sintomas da doença e como que se aloja no coqueiro? Quais procedimentos devem ser adotados para eliminar a doença dos coqueiros?

Obter fontes ou referências adicionais para ajudar a responder ou explorar as perguntas;

7

Como avaliar as resoluções dos casos apresentadas pelos alunos?

CONHECIMENTOS CIENTÍFICOS

ARGUMENTAÇÃO

INTUITIVA?
COM FUNDAMENTAÇÃO?

8

Os Usos do Argumento (Toulmin, 1958)

9

A praga do coqueiro

10

Corrosão e Eletrodeposição:

- Caso da corrosão em Aviões
- Caso da corrosão em Pontes
- Caso da corrosão em materiais empregados no meio bucal

11

Divisão dos Grupos:

- Avião:**
Grupo 1: Herbert, Josias, Leandro e Kelly.
Grupo 2: Diana, Jonas, Mariana e Ronaldo.
- Pontes:**
Grupo 3: André, Antonio Brunetto, Leonardo e Gustavo. Grupo 4: Melise, Antonio Coral e Tatiana.
- Materiais Empregados no Meio Bucal:**
Grupo 5: Adriano, Luis Antonio e João.
Grupo 6: Jefferson, Raphael e Alexandre.

12

Trabalho com os casos:

- Trabalho dirigido (4 aulas) em sala;
- Apresentação oral da resolução do caso debate com os grupos que possuem o mesmo caso e com a sala;
- Produção de diário do caso;
- Atividade individual: produção de texto sobre a resolução do caso (texto argumentativo).

13

	Aula expositiva sobre os casos e distribuição dos casos (guia para análise e resolução)
29/03/07	Trabalhando com os casos (1º dia)
12/04/07	Trabalhando com os casos (2º dia)
13/04/07	Trabalhando com os casos (3º dia)
19/04/07	Trabalhando com os casos (4º dia)
20/04/07	Entrega do material escrito (texto sobre a resolução do caso e diário do caso) pelos grupos 1 e 2. "Corrosão em aviões."
14/06/07	Entrega do material escrito (texto sobre a resolução do caso e diário do caso) pelos grupos 3 e 4. "Corrosão em pontes."
15/06/07	Entrega do material escrito (texto sobre a resolução do caso e diário do caso) pelos grupos 5 e 6. "Corrosão em materiais empregados no meio bucal."
21/06/07	

14

OBSERVAÇÕES:

- 1- As apresentações devem ser feitas em Power Point (duração de 20 minutos), seguidas de debates;
- 2- Todos os alunos devem comparecer no dia da apresentação uma vez que o membro do grupo designado para apresentar a resolução sugerida pelo grupo será sorteado 15 minutos antes do início da aula;
- 3- Anexar aos diários o arquivo impresso do power point apresentado.

APÊNDICE F – TERMO DE CONSENTIMENTO E INFORMAÇÃO

Nome da Pesquisa: Casos investigativos no ensino de corrosão: estratégia para o desenvolvimento de habilidades argumentativas de alunos de graduação em química

Pesquisadoras responsáveis: Profa. Dra. Salete Linhares Queiroz e Mestranda Ana Maria de Souza Velloso

Informações sobre a pesquisa: Estudos têm demonstrado a importância da argumentação no ensino de ciências. No entanto, para que a argumentação ocorra no ambiente escolar é recomendável que atividades baseadas na resolução de problemas sejam apresentadas aos estudantes. Assim, nesta pesquisa temos como objetivo elaborar e investigar atividades de ensino potencialmente capazes de favorecer a ocorrência da argumentação em aulas de química, relacionadas aos tópicos *Corrosão e Eletrodeposição*.

Assim, convidamos você, estagiário do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino do (IQSC – USP) ☐ docente ☐ aluno(a) da disciplina *SQF 0338 – Corrosão e Eletrodeposição*, a participar deste estudo. Assumimos o compromisso de manter sigilo quanto a sua identidade, como também garantimos que o desenvolvimento da pesquisa foi planejado de forma a não produzir riscos ou desconforto para os participantes. Pedimos também autorização para gravar (em áudio e vídeo) algumas aulas.

Profa. Dra. Salete Linhares Queiroz

Ana Maria de Souza Velloso
(Mestranda)

Eu, _____
RG _____, abaixo assinado, tendo recebido as informações constantes no verso ciente dos meus direitos, concordo em participar da referida pesquisa, bem como ter:

1. A garantia de receber todos esclarecimentos sobre todas as discussões antes e durante o desenvolvimento da pesquisa podendo afastar-me a qualquer momento assim que desejar.
2. A segurança plena de que não serei identificado, mantendo o caráter oficial da informação, assim como está assegurado que a pesquisa não acarretará nenhum prejuízo individual ou coletivo.
3. A segurança de que não terei nenhum tipo de despesa material ou financeira durante o desenvolvimento da pesquisa, bem como esta pesquisa não causará nenhum tipo de risco, dano físico, ou mesmo constrangimento moral e ético.
4. A garantia de que toda e qualquer responsabilidade nas diferentes fases da pesquisa é dos pesquisadores, bem como fica assegurado que a divulgação dos resultados finais será feita em meios de comunicação e órgão de divulgação científica idôneos.
5. A garantia de que todo material resultante será usado exclusivamente para a construção da pesquisa e ficará sob guarda dos pesquisadores.

Tendo ciência do exposto acima, desejo participar da pesquisa.

São Carlos, _____ de _____ de 2007.

Assinatura do participante

APÊNDICE G – INSTRUÇÕES PARA A REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

A - Assunto:

Explicar em linhas gerais o assunto do caso e fazer um levantamento do que é necessário saber para solucioná-lo. Tente elaborar a resposta de maneira mais completa do que foi realizado na última aula.

B - Pesquisa das características do problema:

Apresentar quais os vínculos científicos que o caso tem com:

- Classificação, tipo e composição das ligas
- Meio corrosivo
- Condições operacionais
- Principais formas de corrosão nas ligas
- Mecanismos dos processos corrosivos (se houver)
- Proteções contra corrosões

C - Julgamento de valor – gravidade do problema:

Faça um julgamento da gravidade do problema descrito no seu caso. Justifique sua resposta.

D - Inventário de medidas:

Que diferentes tipos de medidas normalmente são tomadas diante da situação apresentada no caso?

E - Pesquisa das características das medidas:

Vocês acreditam que as medidas acima citadas são suficientes para resolver o problema?

Explique

Que outras medidas vocês consideram importantes e que deveriam ser tomadas?

F - Julgamento de valor da melhor solução:

Que medidas vocês acharam mais adequadas para a resolução do seu caso?

Explique detalhadamente as vantagens e desvantagens das opções escolhidas em relação às outras possíveis soluções.

G - Estabelecimento de um plano de ação:

Estabeleça um plano de ação, ou seja, apresente a medida que vocês julgaram ser a mais adequada para a resolução do problema.

H - Execução da decisão:

Reúna todo o material que o grupo coletou sobre o caso e iniciem a estruturação da apresentação oral que será realizada pelo grupo.

OBS: Na próxima aula, o grupo deverá trazer para sala de aula o diário de resolução dos casos, onde deverão constar todas as referências utilizadas para a resolução do caso.

ANEXO A – TRANSCRIÇÃO DOS DISCURSOS DOS ALUNOS DURANTE AS APRESENTAÇÕES ORAIS SOBRE AS RESOLUÇÕES DOS CASOS.

Nota: Os nomes que constam no texto são fictícios.

Corrosão em Aviões

Grupo G1

Bom dia a todos. Meu nome é... Meu nome é Humberto. Eu pertenço ao grupo G1 e foi incumbido a nós, o estudo do caso dos aviões, corrosões em aviões. Esse grupo é formado por mim e mais os outros três integrantes: Jackson, Kathy e Leônidas. O histórico dos aviões: desde os primórdios, o homem sempre ambicionou voar né, é um grande sonho da humanidade. Com isso, ao longo da história, sempre surgiu vários projetos e modelos de máquinas voadoras. O humanista que desenvolveu o primeiro protótipo, um rabisco de como montar uma máquina voadora, foi Leonardo da Vinci. Então, no final do século XIX, no final de 1890, mais ou menos, começou a aparecer os primeiros planadores, que eram aviões, mas eles não tinham propulsão própria. Então, no começo do século XX, Alberto Santos Dumont foi quem construiu o primeiro avião, o conhecido e famoso 14-bis. No século XX, posterior ao advento do 14-bis, com o advento também das guerras, você tem aquele desenvolvimento acelerado, e você tem o surgimento de aviões de metais. Como todos já sabem, corrosão pode atuar sobre todos os objetos, então, é a deteriorização de materiais, sob a ação de um meio corrosivo. Estruturas metálicas, pontes, monumentos históricos, enfim, qualquer material está sujeito à corrosão, não só metais, como também outros materiais, polímeros enfim, e com isso, a corrosão causa prejuízos sociais, econômicos, materiais e culturais. De certa forma, você tá corroendo um monumento histórico, você perde um patrimônio cultural; prejuízos econômicos, você tem que gastar para prevenir a corrosão e prejuízos materiais mesmo: você tem uma indústria, você sofre corrosão, você vai ter gastos com isso, gastos diretos e indiretos. Bom, qual o problema dos casos dos aviões, que foi proposto ao nosso grupo? Os aviões estão sujeitos a meios corrosivos, nas condições adversas de voo, intemperismo. Enfim, então mudanças de fatores climáticos como temperatura, pressão - você está ao nível do mar, depois você sobe para a estratosfera - e da mecânica de voo mesmo a trepidação, tudo isso influencia né, na qualidade do material. Pressão, umidade, salinidade e tudo isso vai, de certa forma, atacar o material. Então, o fato do stress mecânico na decolagem e no pouso pode gerar trincas, com o stress mecânico, e isso pode ser um meio de você favorecer pontos de corrosão. Então o desafio proposto é que nós tínhamos que sugerir três ligas de alumínio resistentes à corrosão, à fadiga, à mecânica e às condições de voo. E também sugerir dois tipos de proteção, de fácil manuseio e aplicabilidade, e que, se possível, não fosse agressivo ao meio ambiente. Bom, por que ligas de alumínio e não usar o alumínio puro? Todos sabemos que o alumínio tem aquela corrosão generalizada, que forma aquela camada de óxido protetor e você não tem a propagação da corrosão, só que, apesar de ele ser resistente à corrosão, ele não pode ser aplicado em um avião, por que ele é frágil e maleável. Imagina você tá voando, vai fazer uma manobra, “cresc”, a asa enverga, pronto! E aí como é que fica? Então é adicionado cobre, magnésio, silício, manganês, zinco e outros metais pra conferir a essas ligas de alumínio uma maior resistência mecânica. Tá, então, dessas ligas você tem que usar materiais que resistem a condições adversas, só que também seja resistente à mecânica, à corrosão e que seja leve, barato e de fácil disponibilidade. A ABNT (Associação Brasileira de

Normas Técnicas), ela prescreve quais são a classificação de ligas de alumínio, da série 1000 até a 7000. Essas ligas, os números, correspondem quais são os metais que são adicionados ao alumínio e confere a eles as propriedades. Essas ligas podem ser tratadas termicamente, usadas em casos específicos como solda, alumínio e silício e outras aplicações mais resistentes, que utilizam zinco. Quanto à resistência mecânica, essas ligas apresentam elevadas resistências mecânicas, por exemplo, essa 7000 a 2000 também, que, é o foco também do nosso trabalho, principalmente, por que essas duas ligas, tanto a 7000 como a 2000, elas são mais aplicadas para esse fim. E quanto ao coeficiente de corrosão, em comparação com outros materiais, ela não tem corrosão tão acentuada, mas, comparativamente a ela, você tem uma boa resistência à corrosão, uma média e uma excelente também. Então, para seleção da nossa liga, tivemos que ponderar entre a resistência à corrosão e a resistência mecânica, e é interessante para a aplicabilidade em aviões, de que você tenha essa relação resistência-peso muito bem determinada. Ela tem que ser a máxima possível, maior resistência e menor peso, então ela tem que ser a máxima possível, então, a solução dessas ligas que respondem a esse fator são essas duas: as ligas da classe 2000 e 7000. Então, essas ligas são tratadas termicamente, você pode fazer um tratamento térmico, que consiste no aquecimento de materiais, a fim de melhorar suas características. Então, essa metalurgia da liga do tratamento térmico, homogeneização, você aquece o material, já que você obteve, faz um tratamento térmico à cerca de 500°, você remove, com isso, a segregação de fases, que no preparo do material, você tem pontos de cristalização que começam a crescer de uma forma desordenada e com isso, você pode formar compostos intermetálicos entre os grãos, e a corrosão nas ligas de alumínio ocorre preferencialmente aqui. A gente vai apresentar mais adiante. Então você consegue reduzir essas segregações de fases; você tem um controle da granulometria e propriedades mecânicas e também você envolve mudanças de fase cristalina. Por exemplo, aqui é um esquema de representação de macrografia desses cristais e aqui você tem uma fase beta e aqui você passa para uma fase alfa que tem menos segregação de fase. Outro tipo de tratamento térmico é o envelhecimento, ele consiste no aquecimento também acerca de 500 graus e com resfriamento um pouco mais rápido, do que a homogeneização, geralmente é a água que é utilizada; você previne que os elementos voltem a se precipitarem e a precipitação é gradual, desses elementos de liga, nos cristais, e confere a isso um máximo endurecimento da sua peça, você colabora ainda mais para que ela seja mais tenaz, resistente mecanicamente. O recozimento pleno é também um outro tratamento térmico e consiste no aquecimento em cerca de 350° e você tem mudança da conformação cristalina também e também confere uma certa plasticidade à liga. Você, após o recozimento, você pode moldar ela mais facilmente. Então, a liga selecionada dentre aquela série 2000 e 7000 foram essas três: a liga A (alumínio alloy) AA2024, AA7175, AA7475, que respondem, pelos artigos analisados pelo nosso grupo, a essa relação resistência-peso, que é o fator preponderante na análise dessas ligas. Então, dentre as três, uma foi selecionada, que é a liga de alumínio 7475. Por que? Pelos ensaios de tração, ela respondeu com maior resistência, um maior módulo de Young pelo gráfico de tensão-deformação. Ela forma pequenos grãos em solução sólida, que é reflexo da... Um reflexo disso é o grande módulo de elasticidade, e é utilizado atualmente em vários projetos da Embraer. Então, a liga já foi escolhida e como fazer para prevenir a corrosão dessa liga? É sabido que na liga de alumínio, o mecanismo de corrosão ele é preferencialmente intergranular, ou seja, vai acontecer entre os grãos e é formada no cristal, os elementos intermetálicos que não estão contidos nos grãos, eles passam a ser preferencialmente corroídos, a exemplo desse composto aqui de alumínio e manganês, magnésio. Perdão, é magnésio e zinco. Enfim, e a diferença, de como você tem materiais diferentes, você tem potencial químico e você passa a atuar com os precipitados sendo os catodos e o próprio grão de alumínio sendo o anodo gerando uma corrente de corrosão. Então minúsculos furos nas superfícies começam a se aglutinar e formar trincas, como pode ser visto

aqui nessa micrografia. É uma analogia a tijolos de cimento que você tem na construção civil. Ele começa a formar pontos e vai com a fadiga, e o stress vai começando a corroer e gerar essas trincas, que é um perigo muito grande. Vários acidentes já foram causados por isso. Imagina, durante o voo você tem uma trinca que, sobre as condições de frequência, oscilação, na mecânica de voo, você pode ter a propagação nisso. É interessante também focar na junção parafuso, fuselagem e de outros materiais diferentes. Então, nesses pontos, como você tem materiais diferentes, você pode ter início de corrosão, então é importante prevenir essa junção. Como fazer a proteção dessas ligas? Basicamente utilizando tintas de revestimentos. A pintura eletrostática foi um dos fatores que ajudou a gente a escolher, porque você vai ter um efeito barreira e a aplicação dessa tinta é relativamente o mecanismo de aplicação dela, é relativamente simples. Você primeiro faz a remoção de qualquer resíduo que está sobre a peça, óxidos e tal, você faz essa limpeza, então você utiliza um pó eletrizado e você aplica sobre o substrato que é aterrado e que isso faz com que ele fique aderido à superfície. Então, após isso, você leva ele num forno de alta temperatura, e a tinta ou polímero, ele vai se fundir sobre a peça, aí você tem um tipo de proteção como proteção. Então, as resinas e tintas mais utilizadas elas são as resinas epóxi, poliésteres, híbridas que consiste na mistura entre algumas dessas resinas, poliuretanas e acrílicas. Dentre elas, a poliéster e a poliuretana são as mais resistentes à radiação ultravioleta, que o avião pode estar exposto. O segundo tipo de proteção que o nosso grupo sugeriu é utilizar a proteção polimérica, que na verdade vai ser um conjunto de proteções poliméricas, primeiramente aplicando sobre a liga de alumínio, utilizada nas asas de aviões, a polianilina, que ela tem um efeito de dispersar a carga e o efeito barreira, e para você melhorar a ancoragem desse polímero condutor, você utiliza a SAM que é uma técnica que em inglês é *Self-Assembled Monolayer*, que é a montagem de autocamadas, que consiste em melhorar a ancoragem do polímero. Você vai fazer com que o polímero vai ficar mais agarrado à superfície e também utilizar a proteção com dióxido de titânio após o recobrimento com a polianilina. Pra que? O polímero, ele pode ser fotodegradável e em condições de voo, você tem variação de temperatura de menos 50 até 70 graus, você também tem a exposição à radiação de ultravioleta que pode degradar o polímero e a variação de temperatura. Mas a utilização de dióxido de titânio, na fase rutila, ela é preferencialmente usada para você prevenir a fotodegradação do polímero. Na junção parafuso e fuselagem, você pode utilizar como meio que impeça o contato desses dois, teflon e poliuretanas. Então, vários acidentes aéreos foram causados por esse efeito, a exemplo do Aloha Airlines, que teve um desprendimento da capota dele, como efeito de corrosão nos arrebites que juntam né, que prendem a liga de alumínio à fuselagem. E a exemplo também do acidente aéreo que ocorreu nos Estados Unidos, de uma turbina cair e o avião tombar sobre um condomínio residencial. Então como conclusão do nosso grupo, a gente optou pela liga de alumínio da série 7475 e preferencialmente usar a proteção polimérica de ancoragem, com SAM e bloqueador solar, que é o dióxido de titânio na fase rutila, e revestir os parafusos, por que não adianta muito você ter uma proteção, só que você deixa lá dois materiais diferentes, então por fora você pode ter um avião totalmente bonitinho, só que por dentro você pode ter vários pontos de corrosão. Então, o futuro da aviação é a *Boeing*, a empresa que fabrica aviões, muito conhecida internacionalmente. Ela vai lançar em 2008, ou seja, no ano que vem, esse avião esse modelo 787 *Dream Liner*, que ele é feito de fibras de carbono. Por que? Essas fibras de carbono ela não são suscetíveis à corrosão e são bastante resistentes, e elas respondem aquele fator resistência *versus* peso a título de renovação. Aqui são as referências bibliográficas. Eu gostaria de agradecer ao professor, pela oportunidade de estar apresentando esse trabalho, que para nós, alunos de graduação, é muito interessante, ao professor Ubiratan, pela colaboração em alguns revestimentos metálicos, às monitoras pelo apoio e ao Sr Ricardo pela confecção de algumas transparências, das imagens principalmente, e a todos os presentes. Muito obrigado!

Grupo G2

Bom... Eu estou aqui para representar o grupo G2 e os integrantes são a Diva, Jonas, Marina e eu. A gente foi escolhido para o estudo de caso sobre corrosão em aviões. Como problema neste caso a gente tem que projetar uma estrutura para a asa de um avião, que fará a linha de São Paulo ao Rio de Janeiro e deve-se propor uma liga para essa asa do avião que seja contra a corrosão, difícil corrosão, e também é importante levar em consideração os custos envolvidos na fadiga de corrosão e a fadiga que a asa vai sofrer a altas pressões e a altas alturas também. Como dados, a gente tem a necessidade de encontrar uma liga que seja resistente contra a corrosão e a fadiga e como um outro dado, é os diferentes meios em que o avião vai ser submetido, como no caso, a linha que vai fazer de São Paulo ao Rio de Janeiro e levando em consideração que o meio ambiente em São Paulo tem uma atmosfera ácida, enquanto que no Rio de Janeiro tem grandes quantidades de íons salinos, devido a ser uma cidade beira-mar. Outros fatores também que podem influenciar na corrosão, é as grandes diferenças de temperaturas que o avião vai ser submetido, devido ao deslocamento de altitudes dele, descargas elétricas de raios, trovões, erosão causada pelo vento, devido a grandes velocidades que o avião pode atingir com o atrito com o ar e a diferença de pressão também, relacionadas às diferenças de alturas; e não pode ser muito diferente do resto do avião o material escolhido para a asa, devido à formação de um par galvânico se a liga da asa do avião for muito diferente do corpo dele. O alumínio é produzido a partir da bauxita e o Brasil apresenta uma grande produção mundial, representando 9%. Puro, o alumínio se apresenta mole e com baixa resistência mecânica, porém quando ele é misturado com pequenas quantidades de outro metal ele torna-se um material muito resistente, que é essencial hoje na indústria aeroespacial, devido à densidade de resistência para um avião. Algumas aplicações do alumínio é na estrutura de aviões, navios e automóveis, na construção civil também é bastante utilizado, na fabricação de cabos elétricos, na condução. Porém, ele conduz duas vezes mais que o cobre, lembrando que a diferença de custo entre o cobre e o alumínio é razoável e também o alumínio é bastante utilizado em tintas. O alumínio tem como principal vantagem a baixa densidade dele, no caso, para um avião, é essencial, porque se o avião fosse constituído de ferro ou algum outro material mais pesado, ele teria uma difícil decolagem e o baixo custo dele também é uma principal vantagem. Uma desvantagem dele é que ele necessita de tratamento contra a corrosão. O alumínio apresenta alta reatividade, por isso que ele necessita de um tratamento contra a corrosão, tanto puro quanto em liga. A sua resistência à corrosão depende da formação de um óxido fino de Al_2O_3 , por isso que, como o professor disse em aula, as painéis quando são lavadas elas ficam brilhantes e logo um tempo depois elas se transformam em opacas, devido à formação desse óxido na superfície, e o filme é formado rapidamente quando em contato com o ar devido a grandes presenças de O_2 . Uma camada de óxido muito fina é formada na superfície e isso num avião, com o atrito com o ar, devido a altas velocidades que o avião pode atingir, essa camada pode ser retirada, e quando essa camada é removida, a corrosão continua até o alumínio ir perdendo massa, até se tornar isso constantemente. A forma mais comum de corrosão em alumínio é a corrosão por pite, devido, no nosso caso, tem a região salina com grandes quantidades de íons Cl^- , que é a região do Rio de Janeiro. As ligas de alumínio são identificadas pela composição e o tipo de tratamento térmico. A composição é composta por 4 dígitos: o primeiro dígito representa o elemento com maior concentração, enquanto o segundo dígito representa o material essencial que é a liga de alumínio. No caso do nosso vai ser zero, e o terceiro e quarto dígito é o específico de cada liga, e o tratamento térmico é representado por uma letra e um dígito. Os tratamentos térmicos são conhecidos como T3, T4 e T6. O T3 representa a liga endurecida com trabalho a frio, enquanto que o T4 é endurecida com precipitação à temperatura ambiente e o T6 é endurecido por precipitação com aquecimento. Algumas ligas... Essas são alguns

exemplos de ligas e aqui temos a liga... A série 2000, onde o cobre é o metal com maior porcentagem e são bastante utilizados na indústria aeronáutica, e temos o alumínio com zinco que são da série 7000, utilizada também na indústria aeronáutica. Os dois apresentam grande resistência mecânica, e as ligas alumínio, magnésio e silício da série 6000, utilizadas em componentes automotivos, superfície arquitetônicos. A liga de alumínio com manganês que são da série 3000, utilizadas em latas de bebidas, painéis etc. As propriedades mecânicas das ligas variam de acordo com a concentração dos metais presentes nela. No caso, aqui, a liga de cobre, com maior porcentagem de cobre, ela possui uma alta resistência mecânica e uma facilidade na usinagem dela. Porém, ela diminui a resistência à corrosão salina; a liga de alumínio e zinco é parecida com a de cobre, ela também possui uma alta resistência mecânica e diminui a corrosão em atmosfera salina, enquanto as ligas de silício e magnésio apresentam uma baixa resistência mecânica e uma boa resistência à corrosão. Temos a liga 6000, a gente precisava escolher três ligas e a gente optou pela liga 6000, composta por magnésio, das linhas 7000, compostas por zinco. E a liga 2024 que é a de cobre, que temos a porcentagem de cobre de 3,8 e de magnésio 1,2. Lembrando que o magnésio pode compensar e ajudar na resistência mecânica da liga. Então temos a liga 2024, que ela possui um processo de usinagem fácil, alta resistência mecânica e uma matéria prima de baixo custo, no caso o cobre, e uma baixa resistência à corrosão salina; a liga 7075 é de difícil produção com maior resistência à corrosão e uma menor resistência... Uma maior resistência à corrosão e uma menor resistência mecânica (risos). A liga 6061, ela possui uma resistência mecânica média e uma boa resistência à corrosão, porém, para o nosso caso, a construção de um avião é viável a gente obter uma liga mais resistente com “menas” resistência à corrosão, do que uma liga com maior resistência à corrosão e menor resistência mecânica. É muito mais fácil a gente projetar o avião com resistência mecânica razoável e tratar ela para contra a corrosão, enquanto se usasse uma liga com “menas” resistência mecânica seria mais difícil o tratamento dela depois de já pronta. A liga escolhida então foi a 2024, devido a este fator (risos). Algumas prevenções para a corrosão é a seleção de materiais, no caso o tipo de material que será utilizado, o *design* de materiais devido à corrosão por frestas etc, outra é a modificação do meio corrosivo, porém no nosso caso seria a atmosfera, difícil muda. A modificação do potencial do sistema e a prevenção por revestimentos, no nosso caso a gente vai dar uma atenção maior para alguns revestimentos. As aeronaves são protegidas contra a corrosão hoje em dia por três camadas: a primeira é a formação de óxido natural do alumínio, a segunda por uma camada de primer epóxi e uma terceira de poliuretano, que ela protege contra as intempéries. A primeira alternativa pra a proteção contra a corrosão que a gente obteve, que a gente propôs, foi o recobrimento com o filme de polímeros condutores, no caso a polianilina. Ela possui algumas vantagens como: ela vai agir como efeito barreira, ela dispersa a carga com baixa resistividade, boa estabilidade nas condições ambientais, e desloca o potencial de corrosão para valores mais positivos e protege a película de passivação. Porém, a principal desvantagem dela é o difícil processamento do filme e a manutenção das características condutoras, durante e depois da aplicação. Pode ocorrer bastante custo para a empresa. A segunda alternativa que a gente encontrou é a alodinação, que ela é reconhecida com bastante eficiência hoje em dia, que ela é uma das mais utilizadas hoje em dia pelas empresas aeronáuticas. O que é o alodine? O alodine é um cromatizante, que pode ser pó ou líquido, que apresenta cromo na sua superfície, ocorre uma produção de película anticorrosiva de cromatos estáveis na superfície do alumínio, ou das ligas do alumínio. A vantagem da anodização é que ela possui uma excelente resistência anticorrosiva, uma excelente ancoragem para uma posterior pintura ou alguma outra resina pra melhorar a anticorrosão e a estabilidade ao calor, acabamento estético bom e mantém inalterada a condição elétrica natural do alumínio. O funcionamento dela é o seguinte: em solução, quando ela, em presença do alumínio, o cromo VI é reduzido a cromo III na forma de hidróxido. Esse

hidróxido funciona como filme protetor, que nesse caso ele agrega algumas moléculas de cromo VI que estavam presentes na solução. Essa mobilidade das espécies de cromo VI que tem devido à agregação ao hidróxido, permite que os íons de cromo VI possam encontrar o pites presentes já na liga e quando eles se encontram, os pites, eles podem formar óxidos, diminuindo os sítios ativos de corrosão nesses pites já presentes. A formação do filme de alodine é a seguinte: cê pega uma amostra de alumínio, da liga que vai ser utilizada, e adiciona a ela uma solução de NaOH, 2 Molar, em seguida você enxágua ela com água e desnatura-la em secagem com jato de NO_2 , um gás inerte. Logo em seguida você adiciona ela uma outra solução, porém agora com HNO_3 , e depois de um tempo você também enxágua ela com água e secagem a jato de NO_2 , de N_2 . Em seguida, depois desse processo de “limpagem” da liga, ela tem a imersão numa solução de alodine, em um pH de 1,3 por 5 minutos e o filme se forma naturalmente. A principal desvantagem da anodização é o problema ambiental, ou seja, os descartes de efluentes dela, pois ela apresenta cromo, que é prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana e também tem o problema do cianeto que é utilizado no processo de formação dos filmes na solução, que os banhos, que é utilizado para preparar os filmes, contêm cromo e cianeto que são de natureza tóxica. A terceira alternativa para o caso foi o filme que é obtido a partir de uma solução contendo íons de lítio, borato e alumínio, por polarização anódica, que a partir de agora a gente vai chamar ela de LBCC-POL-45, e essa foi a escolhida, foi escolhida para o nosso trabalho. Aqui o processo de formação desse filme, o processo de limpeza da liga é o mesmo para anodização, porém, a formação do filme a liga é polarizada anodicamente a 2 volts e em uma solução aquosa alcalina, concentrada de lítio, boro e alumínio, a um pH 12,1 e mantida por 45 minutos e o filme se forma. Lembrando que a polarização por 2 volts foi escolhida, devido a... Foram feitos experimentos e foi comprovado, experimentalmente, que a 2 volts, as amostras se tornaram passivas à corrosão. O funcionamento é: o alumínio é oxidado anodicamente na solução enquanto neutra, contendo os boratos formando o filme, funcionando como uma barreira. A densidade de corrente obtida com a polarização é menor que nos outros filmes, nessas mesmas condições, no mesmo potencial no caso, e o potencial de corrosão foi deslocado para valores mais positivos, que isso é essencial no nosso caso. Como o alodine é bastante conhecido, é bastante utilizado hoje nas indústrias aeronáuticas, a gente vai comparar ela com a nossa liga escolhida, que é o LB... Não, a nossa resina escolhida que é LBCC-POL-45. No caso, aqui, a gente apresenta um MEV das duas, do filme sobre a liga de alumínio para as duas e podemos ver que daqui para o alodine ela apresenta uma estrutura bastante homogênea, porém ela possui alguns defeitos entre os grãos, enquanto para o LBCC-POL-45, ela apresenta uma grande porosidade na resina. Aqui temos o EDX para o alodine, podemos ver que na superfície dos grãos tem bastante presença de cromo. Aqui é o alumínio, que é referente ao alumínio da liga, e a quantidade de oxigênio está em torno de 80, que é devida à formação de óxidos e aqui... (risos), aqui temos o EDX para a LBCC-POL-45 que, no caso, aqui o alumínio, o pico está alargado e também maior, devido à presença do alumínio na solução, que foi tratada e também o alumínio da liga e temos... uma maior concentração de oxigênio também, devido à formação de óxido de lítio, borato e alumínio na liga, maior que no alodine. E outra, essa técnica de EDX, ela não detecta elementos com baixo número atômico, no caso o lítio e o boro não aparecem no gráfico, porém a quantidade de oxigênio de óxido formado garantem a presença de hidróxido de lítio e boro estão presentes. Aqui temos uma micrografia para o alodine e uma para o LBCC-POL-45, podemos ver que o filme está entre a liga e o primer epóxi, no caso aqui, o filme de alodine está presente aqui, ele praticamente não dá para perceber ele aí. Na POL-45 a gente percebe que o filme dá para perceber ele na micrografia, que ele apresenta uma maior espessura. Como podemos ver aqui, nessa tabela, o ALOD apresenta uma espessura de filme de aproximadamente 1 micrômetro, enquanto a LBCC-POL-45 apresenta aproximadamente 10 micrômetros. Comparando a curva

de potencial de corrosão pra ambos, temos que para o ALOD, a densidade de corrente de corrosão é aproximadamente menos 5,5, enquanto que para o LBCC-POL-45 é de aproximadamente menos 6,5, no caso, lembrando que o Log da densidade de corrente, a densidade de corrente para o LBCC-POL-45 é menor e isso significa que a velocidade de corrosão também será menor, e também podemos ver que o potencial de corrosão para o LBCC-POL-45 varia para potenciais mais positivos e isso é mais difícil de corroer o LBCC-POL-45 do que o ALOD, o alodine. Aqui temos uma extrapolação da reta de Tafel, onde esse gráfico foi obtido utilizando a liga de LBCC-POL-45 e uma solução de NaCl, onde tem a presença de íons cloreto, simulando a atmosfera salina do Rio de Janeiro e em pH de 5,8, simulando a atmosfera ácida de São Paulo, e nesse gráfico podemos ver o ponto de equilíbrio, aonde o potencial, a densidade de corrente de corrosão e o potencial de corrosão. Podemos ver aqui então que, para o alodine, a densidade de corrente de corrosão é de 0,018, enquanto que para o LBCC-POL-45 é de 0,0031, no caso, é menor. Portanto, a corrosão tem uma menor velocidade no LBCC-POL-45, já o potencial de corrosão variou para o LBCC-POL-45, variou para valores mais positivos, o que é de nosso interesse. A resistência à polarização variou de 130 para 284, que é uma maior resistência, mais difícil de alterar o ponto de equilíbrio dele, do LBCC-POL-45. Aqui, temos um ensaio de adesão, para as duas amostras, da liga 2024 sobre Alodine e LBCC-POL-45. Podemos ver que para o ALOD e o LBCC-POL-45 praticamente foram as mesmas respostas ao ensaio de adesão, apresentando pequenos defeitos, representando que as duas resinas tem uma boa aderência a liga 2024. As conclusões: temos que a liga 2024 foi escolhida, devido um baixo custo de produção, uma boa resistência mecânica e uma boa ancoragem. Para uma suposta resina ou alguma pintura, devido à sua porosidade. A escolha da proteção é devido aos filmes livres de cromo que se mostraram mais porosos para uma boa ancoragem e mais espessos, do que os alódinos que é o material que contém cromo. O filme proposto apresentou menor potencial de corrosão que o filme contendo cromo devido ao gráfico que eu mostrei sobre potencial de corrosão. E o LBCC-POL-45, foi comparado com ALOD e os dois tiveram praticamente os resultados semelhantes, alguns resultados semelhantes, e como o ALOD é bastante utilizado hoje em dia, a gente supõe que o LBCC-POL-45 também possa ser um grande promissor a vir a assumir a posição do ALOD, do alodine. Uma grande vantagem para o LBCC-POL-45 sobre o alodine, é a que ele não apresenta os problemas de descartes devido à presença de cromo e cianeto no ALOD. Aqui temos algumas referências bibliográficas. Quero chamar a atenção a esses *sites* que a gente se baseou praticamente neles e utilizou uma ou outra referência para a resolução do caso. Eu gostaria de agradecer ao professor, aos monitores aqui presentes e a todos.

Corrosão em Pontes

Grupo G3

Bem, eu sou Andrei. Eu faço parte do grupo G3. Os outros integrantes do grupo são Heitor, Germano e Ivo. O nosso grupo ficou incumbido de resolver o caso *Golden Gate Bridge*. É isso que a gente vai tentar mostrar para vocês agora. Bom, primeiramente, só uma introdução sobre a ponte. Ela foi inaugurada em maio de 1937, ela tem 2737 km de comprimento e é localizada no estado da Califórnia nos EUA e liga as cidades de São Francisco a Sausalito. Aqui é uma imagem da ponte; aqui uma visão dela no *Word*. Aqui é outra visão dela também. A ponte foi construída numa região de ambiente marinho, com a ocorrência de freqüentes nevoeiros. Aqui tem um videozinho que mostra a intensidade dos nevoeiros, dependendo da época do ano, a quantidade de nevoeiro é enorme. Você nem consegue enxergar a ponte direito. Bem, basicamente, os tipos de corrosão que acontece na ponte, que a gente identificou, é preferencialmente por pites. Por causa de se tratar de um ambiente marinho, a

presença de íons cloreto é enorme, também por se tratar de um ambiente estagnado e por influência de temperatura, e a presença do óxido de metal nativo, principalmente, a corrosão que ocorre é por pites. As condições operacionais: existe uma equipe de manutenção que realiza a troca de peças danificadas, que já não tem mais como fazer alguma outra proteção contra a corrosão. E também eles realizam uma pintura periódica nessas peças, que é aproximadamente de uma a duas semanas, eles realizam essa pintura nas peças, essa pintura ela é feita com primer, silicato de zinco, depois eles utilizam um verniz vinílico e, por cima, a última camada é um pigmento, que é o internacional *Orange*, que caracteriza inclusive a cor da ponte. Bem, a proposta do nosso grupo: a gente teria que aconselhar de três tipos de novas ligas de aço e medidas mais eficientes no combate à corrosão. Entre as medidas que podem ser feitas, existem medidas em vários aspectos... Alguns métodos seriam baseados na modificação do processo, seriam no projeto de estrutura, nas condições da superfície pela adição de proteção catódica, só que esses métodos não são aconselhados, pois mexer no projeto da estrutura da ponte não é viável. A adição de proteção catódica também não e nem as condições de superfície. Existem também métodos baseados na modificação do meio corrosivo, que seria pela deaeração da água ou solução neutra, pela purificação, diminuição da umidade do ar e pela adição de inibidores de corrosão, mas por se tratar de uma região marinha, esses também não seriam viáveis, mexer no meio corrosivo, pelo tamanho... Também métodos baseados na modificação do metal, pelo aumento da pureza do metal, pela adição de elementos. Esses métodos aqui, os dois últimos, adição de elementos de liga e o tratamento térmico eles já seriam viáveis, comparado com os anteriores, de liga e pelo tratamento térmico. Agora, métodos baseados nos revestimentos protetores: os revestimentos com condutores da reação, revestimentos orgânicos utilizando tintas e resinas, revestimentos inorgânicos utilizando esmaltes cimentos, revestimentos metálicos e protetores temporários. Esses aqui, quase todos seriam viáveis para a proteção contra a corrosão. Foi a partir desses daqui que a gente começou a basear a nossa resolução do caso. Como a gente teve que propor três ligas porque era uma das propostas do trabalho, entre as várias ligas de aço que existem, a gente escolheu os aços de alta resistência e baixa liga. Esses aços, eles são melhores que os outros, por que eles aumentam a resistência mecânica, eles aumentam também a resistência a corrosão atmosférica, pois esses aços eles podem formar uma camada de óxido sobre a superfície do metal, que é a chamada pátina, que também contribuem para diminuir a corrosão das peças metálicas e também melhoram a resistência ao choque e ao limite de fadiga, que se tratando de uma ponte também é interessante. As três ligas que a gente escolheu, são essas três ligas, fazem parte esses A, aços de alta resistência e baixa liga, a gente escolheu essas três ligas: A242; A588; A715. Todas essas ligas são aceitas pelas normas tanto brasileiras, quanto pelas normas americanas. Aqui, só um exemplo das ligas que a gente escolheu e a composição de cada elemento nessas ligas: composição de carbono, manganês, fósforo, enxofre, silício, cromo, níquel e cobre e o teor que cada liga tem. Aqui é um gráfico que ilustra a liga que a gente escolheu, de alta resistência e baixa liga em relação a uma outra liga comum, numa região marinha, que no caso é de um artigo que foi realizado o estudo que foi feito em Bertiooga e a ponte, por se tratar de uma região marinha, a gente achou interessante esse gráfico, porque mostra que a utilização do metal que a gente escolheu, em relação aos outros metais, é eficiente porque você pode rebater aqui a perda de massa, que a gente utiliza, as ligas que nós escolhemos é muito menor em relação à outra liga comum. Em se tratando nos aspectos as medidas de revestimento, o que a gente está propondo, primeiramente, é fazer uma galvanização, a quente, da peça. Essa galvanização, você pega a peça, mergulha num banho quente de zinco e aplica uma diferença de potencial. Com essa galvanização vai ocorrer a formação da camada de liga, seguida de formação da camada do metal menos nobre puro. É isso que acontece. O zinco, ele age como metal de sacrifício e também ele é mais reativo. Ele é um bom doador de elétrons e reage mais prontamente com o oxigênio, protegendo o aço,

que é o que interessa para gente. Também ele é relativamente barato e vem sendo utilizado muito industrialmente. Além de fazer a galvanização a quente a gente também achou interessante utilizar um polímero condutor. Esse polímero condutor, ele vai mediar a reação que conduz a oxidação, ele aceita os elétrons do metal e por sua vez doa esses elétrons ao oxigênio. Aqui é uma ilustração de como funciona o polímero condutor. Entre os vários polímeros condutores a gente optou por utilizar a polianilina, que ela tem sido um polímero que vem sendo estudado muito ultimamente e ela pode ser empregada em diversas áreas, por isso que a gente optou pela polianilina. Aqui, é um gráfico que, a gente pode ver, que utilizando a polianilina, a condutividade aumenta. Isso quer dizer que realmente ela funciona porque ela rouba as cargas do metal sobre o qual ela é depositada. Tem o gráfico da condutividade que está aumentando, utilizando polianilina, pelo tempo, então é por isso que ela também é boa e pode ser utilizada. A proteção utilizando a polianilina ela já vem sendo utilizada em alguns lugares, a gente descobriu que a Petrobrás já utiliza uma tinta à base de polianilina que chama *corpassiv*. Eles a utilizam para a proteção de corrosão dessas estruturas metálicas que ficam em regiões que ficam submersas nas plataformas e tem tido um bom resultado com a utilização de filmes com polianilina. Essa tinta *corpassiv*, também a base de polianilina, também vem sendo utilizada no Japão, nessa ponte, que é considerada uma das maiores pontes do mundo. É considerada não, é a maior ponte do mundo, sendo inclusive bem maior que a *Golden Gate*; e os resultados que eles estão obtendo utilizando são expressivos. Aqui é um gráfico de circuito aberto por tempo, que a gente invés de utilizar o *corpassiv*, que a gente não conhece totalmente... Como posso dizer? A gente não conhece todos os elementos que são dessa tinta porque tanto a Petrobrás como a empresa responsável pela ponte do Japão não disponibilizam, fora a polianilina, o que eles colocam nisso. A gente pensou em utilizar a polianilina com zinco. Desse gráfico aqui de potencial aberto, a gente pode ver que, utilizando a polianilina com zinco o potencial é muito menor; quer dizer, demora muito mais tempo pra ele alcançar o potencial de corrosão, então é por isso que a gente achou que a polianilina com zinco é viável. Aqui nesse outro gráfico a gente também tem, nas letras B e na letra E, a polianilina utilizada com zinco, e o C aqui como padrão. A gente pode reparar que tanto na B, quanto na E, a corrente diminui, e diminui também a velocidade de corrosão. A gente pode reparar o B e na E, em comparação com a C, que é só o metal puro; a gente pode ver que a utilização da polianilina com zinco ela é vantajosa, pois ela diminui a corrosão diminuindo a corrente. Só que a polianilina tem um problema: ela pode se degradar com a radiação solar. Uma coisa que pode ser feita, não necessariamente, pode se utilizar a polianilina mais o zinco que a gente escolheu, com o TiO_2 , para evitar a degradação solar. Outra coisa que pode fazer também para diminuir a corrosão é utilizar parafusos revestidos com teflon, porque desse jeito você inibe a formação do par galvânico. Resumindo a nossa proposta foi essa: as ligas de alta resistência e de baixa liga e utilizar como revestimento primeiramente a zincagem, a polianilina mais o zinco, e depois, por final, usar a mesma tinta que eles usam para dar aquela coloração laranja na ponte. Aqui as referências que nós utilizamos. Agradecimentos ao professor, à Dra. Silvia Rosana, que também nos ajudou a esclarecer as nossas dúvidas sobre a polianilina, aos monitores, a todos aos presentes e ao café que me manteve acordado. É isso, obrigado.

Grupo G4

Nosso estudo de caso é sobre a ponte *Golden Gate*. Eu sou a Teresa, meu grupo é o Cícero, Mateus, Arquimedes. E quem que é o outro? Risos... A Marília. Essa é a ponte, ela está situada entre Sausalito e São Francisco. Ela liga essas duas cidades. Ela foi construída, terminada em 1937. Ela tem 2737 metros, o tempo de construção dela foi de 4 anos, o material de construção é aço, tem aproximadamente 600.000 arrebites, rebites, em cada torre,

e em 2002 já haviam atravessado a ponte, mil e setecentos milhões de veículos. Essa sua estrutura supera fenômenos da natureza. Professor, desculpa, mil e setecentos milhões... Não, seria um bilhão e setecentos milhões? Risadas. Cícero: tem mais 6 zeros ali, mil e setecentos milhões de veículos. Professor: continua. A corrosão é devido, principalmente, às condições climáticas do ambiente marinho e o ambiente tem bastante presença de íons cloreto. O aço nela utilizado precisa ser constantemente pintados, para minimizar esses efeitos de corrosão. O nosso objetivo é apresentar dois métodos de prevenção para corrosão da ponte e três tipos de ligas de aços eficientes na prevenção à corrosão. É... Ai a gente tem que analisar o estado da estrutura em relação à intensidade da corrosão, analisar a agressividade do meio, a exposição, checar as vedações das junções de alvenaria com as peças metálicas e manutenções periódicas. Ai é a corrosão, é a “deteroza”, deteriorização dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio e podem incidir em vários tipos de materiais, não só metálicos, assim como, plásticos cerâmicos e concretos. A corrosão do aço: o ferro, ele retorna ao seu estado primitivo de minério, ou seja, ele se combina com oxigênio e água formando óxido de ferro e, na corrosão atmosférica, o eletrólito é a umidade do ar e sua condutividade aumenta na presença da poluição industrial ou marítima, que é o nosso caso. Aqui tá imitando mais ou menos o mecanismo de corrosão generalizada, que ocorre com a oxidação do ferro em contato com a água e o oxigênio. Há vários meios corrosivos, há o meio rural, que apresenta uma umidade sem poluição; meio urbano, com umidade e poluição provenientes da queima de combustíveis automotores; industrial, com umidade e alto concentração de poluentes; marítimos, com presença de umidade e de névoa salina, cloreto e o marítimo industrial, que é a junção do marítimo e o industrial. No meio corrosivo, o que mais ocorre na ponte é o meio da atmosfera, ele é responsável por cerca de 50% do custo total de perdas por corrosão e os fatores que influenciam o tipo de corrosão é a umidade relativa, substâncias poluentes, temperaturas, intensidade e direção dos ventos, chuvas, insolação e variações cíclicas de temperatura e umidade. A corrosão atmosférica é classificada em seca, úmida e molhada. A seca é isenta de umidade, a úmida é umidade relativa menor que 100 e a molhada é aproximadamente 100%. Ai é um exemplo da seca, é o escurecimento da prata e do cobre, na presença de gás sulfídrico na atmosfera, formando sulfeto de prata e sulfeto de cobre e a molhada, um “exemplo” (riso) um exemplo é a chuva e a névoa salina. Aqui tá um gráfico da umidade relativa, o quanto ela influencia na corrosão. Aqui é a deposição de partícula de cloreto de sódio; aqui mostra um aumento do peso, conforme os dias vão se passando, aí cada uma dessas é a umidade relativa aumentando, aqui é 58% e aqui é 97%. A gente pode ver que com a umidade relativa, a deposição de cloreto de sódio e a corrosão é acelerada, aumenta. Aí tem as substâncias poluentes. No nosso caso, a gente tem partículas de cloreto, também vai existir CO, óxido de enxofre, óxido de nitrogênio. eles se depositam na superfície metálica, aumentando a velocidade de corrosão e esses cloretos são substâncias higroscópicas que retêm a água, aumentando ainda mais a corrosão na ponte. A temperatura, se ela for elevada, diminui a possibilidade de condensação de vapor. Aí agora, a condensação de vapor e conseqüentemente adsorção de gases, o que diminui a velocidade de corrosão. Os ventos, eles podem arrastar para a superfície metálica agentes poluentes e névoas salinas. As chuvas, elas podem ser benéficas, no caso de elas lavarem a estrutura metálica e solubilizar os sais que se depositam na superfície; ou podem ser maléficas, em caso de frestas ou regiões, porque a chuva lava e esses cloretos, esses íons, entram na superfície, aumentando, acelerando o processo de corrosão. A insolação causa deterioração de películas de tintas, a base de resina epóxi. Aí uma solução é usar a resina poliuretana. A variação cíclica de temperatura e umidade é em função das estações do ano, que podem ter ação mais intensa ou menos intensa, dependendo da estação. Aí o sistema de proteção que a gente propõe é a galvanização, a zincagem, que é a proteção por sacrifícios, onde o zinco é corroído ao invés do nosso aço da ponte utilizada. Ela pode ser feita através de eletrodeposição, aspersão a quente, imersão,

pintura de rolo, mas a proteção efetiva só ocorre com a pintura do metal galvanizado e proteções adicionais. O processo de imersão: o zinco tem que estar entre 440 e 480 graus, aí primeiro forma uma camada de ferro e zinco e depois vai formando menos ferro e mais zinco, menos ferro e mais zinco e zinco, finalmente, a espessura depende do tempo de imersão. A galvanização é um sistema de boa resistência e representa mais da metade do consumo mundial de zinco. Em ambientes agressivos é recomendada a aplicação de tintas. Aí, o primeiro passo é a limpeza da superfície: se lava com água e tensoativo, enxágua com água limpa, deixa secar naturalmente com ar comprimido, limpa com a escova de arame ou com lixadeira e remove a poeira, que a superfície limpa é essencial. E o segundo passo é a aplicação das camadas de zinco, aí para estruturas grandes, de difícil remoção, a gente falou pra usar uma pistola dotada com arame de zinco, que é... no interior, que na hora de sair o zinco... e no caso da aspersão, alvejar a peça metálica com a aspersão de zinco. Aí para as peças pequenas, o processo de imersão é indicado. E agora, pintura: as tintas, elas funcionam como barreiras que impedem o contato do meio corrosivo com o metal; aí tem o preparo da superfície, como já foi dito: revestimento primário, a camada intermediária e o acabamento. Aí a limpeza, eliminação de impureza como ferrugem, óxidos e sais solúveis, poeira, óleos e graxas, restos de outras pinturas, produtos químicos. São feitos processos de desenrugamento, no caso, para retirar outras tintas, o jateamento, e custa, em média, 60% do trabalho de pintura. Aí o revestimento primário: são tintas de fundo, elas são aplicadas após o preparo da superfície, aumentam a aderência entre o substrato e a camada de tinta intermediária. Elas podem ser tintas de fundo epoxídicas e fundos epóxi-isocianatos. As de fundo epoxídicas são eficientes na proteção de aços e também elas conferem resistência a álcalis, ácidos e solventes; as tintas de fundo epóxi-isocianatos são eficientes na proteção de superfícies galvanizadas, conferem uma maior aderência e não reagem com os óxidos presentes na água. As tintas intermediárias: o zarcão, óxido de ferro micáceo e o cromato de zinco. O zarcão: a proteção é por passivação, ele tem alto teor de chumbo em sua composição e é tóxico, não sendo muito utilizado. A gente não quis utilizar ele por causa que ele é tóxico. Aí tem o cromato de zinco, que é proteção por passivação também e, como ele confere baixa solubilidade em água, a gente não escolheu ele, devido à prevenção do meio ambiente, apesar dele ser eficiente na proteção dos aços. Aí a camada intermediária: a gente achou melhor o óxido de ferro micáceos, são partículas de hidróxido de ferro, em formas de lamelas, confere maior resistência à penetração do eletrólito. As tintas: aí é o acabamento de tinta acrílica, que é obtida através da esterificação dos ácidos acrílicos e metacrílicos; há a elasticidade versátil, resistência à decomposição por raios ultravioleta e são solúveis em água também. Elas podem ser termoplásticas ou termorígidas ou as duas, que secam com o auxílio de energia térmica e termorígidas. Porém, com a evaporação do solvente. Aqui, a escolha da resina, a epóxi, ela é a que tá, risadas, é a penetração de cloreto de sódio no meio de água, é a resina epóxi ela é intermediária a essas resinas, o valor dela, é... Aí a gente não escolhe nem a alquídica nem a fenólica, porque elas possuem ácidos graxos na sua fórmula, aí conforme os óxidos da corrosão vão reagindo, elas formam bolha e descascam a superfície, então aí a tinta já não é muito útil no nosso caso. Aí a preparação da superfície: o desengorduramento, jateamento abrasivo... até o grau de limpeza de brancura, assim. Aí a tinta de fundo, o primer, uma demão de tinta epóxi-isocianato de alta espessura e pigmentação óxido de ferro com a espessura mínima de 120 micrômetros. A tinta de acabamento: duas demãos poliuretano acrílica alifático com a espessura mínima de 40 micrômetros por demão. Aí as ligas: o aço é liga de ferro e carbono, e possuem de 0,008 a 2,11% de carbono e o ferro fundido, eles possuem mais que 2,11% de carbono, são resistentes, conferem resistência a álcalis, ácidos e solventes e são compostos também de ferro e carbono. Ultimamente emprega-se o aço devido a sua nítida superioridade frente às demais ligas, considerando seu preço, algumas das suas vantagens são: existem numerosas jazidas de minério ferro, o procedimento de fabricação são relativamente

simples e econômico, o tratamento térmico é muito amplo, alta plasticidade e a experiência acumulada na sua utilização, permite realizar previsões de seu comportamento reduzindo custo de projetos e prazo de colocação no mercado. Os aços estruturais de média e alta resistência mecânica, eles tem interesse maior, uma vez que eles podem agüentar maior volume de carga, que é o caso da ponte. Os principais requisitos para esse tipo de aço são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama e boa trabalhabilidade em operações tais como: corte foliação e dobramento. Aí é a classificação dos três tipos de grupos principais de aço: carbono de média resistência, o limite de escoamento, alta resistência e baixa liga e ligados tratados termicamente. Aí a gente vai falar um pouco do aço carbono, que são os mais utilizados na construção civil, segundo a NBR sessenta e dois quinze (6215). O aço carbono é aquele que não contém elementos de liga, isto é, apenas teores residuais de cromo, níquel e alguns teores de silício e manganês. São classificados em função do teor de carbono. Características e aplicações: baixo teor de carbono, composição é menor que 0,3%; o médio teor de carbono é entre 0,3 e 0,5%; e o alto teor de carbono acima de 0,5%. Aqui é uma boa tenacidade, conformabilidade, soldabilidade e baixa temperabilidade; aqui é uma média conformabilidade, soldabilidade, média temperabilidade e uma... e o alto teor é uma má conformabilidade, soldabilidade e altas temperabilidades resistência ao desgaste. O aço baixo teor de carbono possui a melhor relação de resistência e custo. A têmpera, um processo mecânico que aumenta a resistência do aço e o aço mais adequado é o aço ASTM A 36, que é classificado como um aço de média resistência mecânica e baixo teor de carbono. Os aços de alta resistência e baixa liga, eles merecem grande destaque. Eles são utilizados na construção civil. O mais utilizado na construção civil é o ASTM A572, grau 50. Desde o lançamento até os nossos dias desenvolveram-se outros aços com comportamentos semelhantes que constituem a família dos aços conhecidos como patináveis. Os aços patináveis vêm sendo utilizados no mundo inteiro na construção de pontes e viadutos e torre de transmissão de energia, sua grande vantagem é de ter uma resistência mecânica maior que a dos aços carbono. Ah, eles desenvolvem, em sua superfície, uma película, óxidos aderentes, protetoras, chamada de pátina; os óxidos aderem na superfície formando uma camada de pátina, chamada de pátina. A camada pátina consiste numa camada de proteção, através do mecanismo de passivação e inibição anódica. Esse processo desloca o potencial do eletrodo no sentido de menor atividade. Formação da camada de pátina: ocorre principalmente por causa do cobre e do fósforo. Cromo, níquel e silício têm papel secundário, é favorecida pela presença de sulfato na atmosfera, é desfavorecida pela presença de cloretos na atmosfera e é formada após longos períodos de umedecimento e secagem. Aí esse é o aço de nossa escolha, que utilizamos na ponte: ASTM A572, de alta resistência e baixo teor de carbono. Aí a gente vai usar o ASTM A572, liga de alta resistência e baixo teor de carbono, utilizar a galvanização, que é um processo relativamente simples, e as partes pequenas pode ser feita por imersão e as partes grandes por pintura a rolo. A pintura: a gente utilizaria a tinta de fundo de epóxi-isocianato de alta espessura, pigmentação com óxido de ferro micáceo e acabamento de tinta de poliuretano acrílica.

Corrosão em Materiais Empregados no Meio Bucal

Grupo G5

Bom, a proposta do meu trabalho era como se fosse um simpósio. A gente tava representando o instituto e a gente devia indicar três tipos de ligas; dois tipos de proteção para cada liga. Então a gente vai falar um pouquinho da corrosão em materiais empregados no meio bucal. Os integrantes são o Artur, o Juliano e o Hugo. Pode passar esse aí também. Bom, hoje em

dia, cada vez mais, os aparelhos ortodônticos são utilizados, tanto quanto pra estética, quanto para corrigir os problemas de oclusão, que são os problemas de mordida e deslocamento de maxilar etc. Algumas precauções tem que ser escolhidas aí para distinguir os materiais: sobre a corrosão e as ligas, elas têm que ser menos suscetíveis à corrosão, não haver liberação de íons de metais no organismo e tem que se prever também a alergia a algum tipo de material utilizado, tanto na elaboração dos fios quanto molas e toda a parte de soldagem do aparelho ortodôntico. Os aparelhos ortodônticos podem ser fixos ou removíveis; eles são confeccionados em ambientes laboratoriais e depois que eles são confeccionados, e após a compra deles, eles passam por um ajuste na boca, feito pelo ortodontista. Pra escolha das ligas utilizadas, deve-se ter um grande interesse no comportamento eletroquímico, justamente para saber sobre a “resistência”, a resistência à corrosão deles no meio bucal, o desempenho funcional, a durabilidade, que também tá ligada à corrosão e a biocompatibilidade pra já suprir aquela... (inaudível) de alguma alergia algum tipo de... Aqui a definição de corrosão: corrosão é a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliado a outros esforços mecânicos. Ela pode ser do tipo: metal em contato com o meio corrosivo, o meio corrosivo, no caso, aí, a região bucal, pode ser metal, sendo o agente redutor onde acontecem as reações da região catódica, anódica, que são os que cedem elétrons, o meio corrosivo neste caso aí é o agente oxidante, onde acontecem as reações catódicas, aí são os que recebem elétrons, sendo que a cada meio bucal o principal agente oxidante são os íons cloreto, são íons fortes. No caso, um outro caso que pode acontecer é quando acontece de um metal ser o agente redutor e o agente oxidante, tendo as duas reações ocorrendo nele, cedendo e recebendo elétrons, dependendo aí da formação de par galvânico, elas podem acontecer seguindo ou uma deformação superficial da liga, a variação na composição, precipitado, segregações e inclusões aí em cima na superfície. Os metais apresentam uma estrutura cristalina, têm uma ordem a longa escala e a corrosão começa, ela se inicia entre os cristais, entre os grãos, na região intergranular. Os metais apresentam uma estrutura cristalina, as impurezas, como toda a liga, têm alguma quantidade de impureza, algum percentual de impureza, elas são segregadas nas superfícies dos grãos, então elas são segregadas para fora da liga e elas permanecem na região intergranular. Aqui a gente tem a figura de uma liga de ouro com a microscopia eletrônica de varredura a 10.000 vezes, a gente tem aqui uma liga de ouro, que exemplifica aqui a região intergranular, que é onde se inicia o processo corrosivo, mesmo os metais puros possuem esse tipo de região, pela estrutura cristalina que eles têm. Os principais tipos de corrosão na região bucal, os mais frequentes, são: corrosão por frestas e corrosão por pite. A corrosão por fresta pode ser gerada quando o material metálico é unido, soldado ou vedado a outro material metálico, ou não metálico, quando se coloca esse dispositivo em meio corrosivo, a fresta se torna difícil ao livre acesso do eletrólito, o qual fica estagnado após conseguirem ingressar, assim o oxigênio presente nestas frestas se consomem, seguido pela hidrólise do metal, gerando íons hidrônio, acidificando a solução e rompendo o filme passivo pela acidez acentuada, ocorrendo então, o início da corrosão, ou seja, o filme passivo do metal é quebrado pela acidificação, que acontece com o não acesso do oxigênio a frestas. Corrosão por pite: é uma forma de corrosão localizada, na qual o metal é removido preferencialmente de áreas vulneráveis na superfície, mais especificamente, a corrosão por pite é uma dissolução localizada, conduzindo à formação de cavidades em metais ou ligas metálicas passivadas, que estão expostos a meios aquosos, contendo os íons agressivos como o cloreto, que é o caso da boca. A corrosão por pites é caracterizada por ataques profundos de pequenos diâmetros e grande profundidade, podendo ocorrer em pequenos períodos. Aí aqui é para exemplificar: a gente tem dois tipos de aparelhos, o fixo e o móvel; aqui a região frontal e aqui por dentro da boca. E o que acontece é que a corrosão por frestas ela é mais rápida, ela acontece com mais frequência na boca do que a corrosão por pites, porque cê pode observar a quantidade de metais ligados, soldas etc,

que tem dentro de um aparelho ortodôntico. Então as três ligas escolhidas pelo grupo foram essas: a liga I é uma liga nobre, uma liga de ouro. Esse é o nome da liga, comercialmente, ouro Lacroix número 5, da marca Lacroix. Ela tem uma composição básica de ouro em 75%, platina 5%, paládio 2, prata em 8%, cobre e outros completando. A segunda liga é uma liga de prata-paládio, com nome PALAD da marca Lacroix, também com uma composição básica de ouro, paládio, prata, cobre e outros completando. A terceira liga é uma liga de titânio-vanádio, nome grade 5 da marca Supra Alloy. Ela tem uma composição de 89.8%, alumínio 6, vanádio 4, e os outros completando. Aí esse daqui é uma curva de polarização em saliva artificial, que a gente tem aquela curva de ouro, da liga de ouro em amarelo, da prata em verde, e aqui é uma liga comercialmente utilizada e essa daqui, uma liga nobre, uma liga seminobre. Essa daqui não se encaixa na nobreza, mas ela é uma liga utilizada também pra materiais ortodônticos. Essa curva de polarização mostra aonde começa aqui a região de passivação da liga de ouro e a liga de prata em relação a ela. Você vê que elas são muito superiores, a prata ainda tem uma regiãozinha de ativação aqui, mas depois tem uma densidade de corrente bem uniforme aqui, para mostrar que as duas são muito boas perto dessa, mas o ouro ainda é um pouquinho melhor. Aí, essa daqui também é uma curva de polarização de saliva artificial, essa daqui é a composição da saliva artificial. Você pode ver que a maior parte em porcentagem aqui você tem com NaCl e com bicarbonato de sódio e a quantidade de cloretos que existem é muito grande aqui, então é um meio bem agressivo. Nessa curva de polarização, ele exemplifica aqui, o principal mesmo é essa do titânio, e essa que é “A”, que é a curva de ouro, em comparação à curva da liga de ouro, essa daqui é uma amálgama e umas outras que foram testadas, mas o principal é então observar aqui, a região de passivação do titânio. Aqui é ao contrário, o potencial tá embaixo, tá no eixo X e aqui a densidade de corrente está no eixo Y. O titânio, ele já começa a se passivar numa região aqui de menos 100 e vai até aqui em 1000, mas na bibliografia diz que a região de passivação foi feita com potencial de até 3 volts e não foi quebrada e dizem que chegar até com 6 volts nessa versão e a de ouro ela sai aqui perto de menos 100, também ela começa a se passivar perto do potencial de zero, tem uma região de passivação aqui, de até 400 milivolts e depois ela sofre uma dobragem aqui, ocorre uma corrosão. Essa aqui é a curva de polarização só da liga de titânio. Ela tem a parte anódica e a catódica, aqui a gente vê que o potencial de corrosão é próximo a 0,5 milivolts, 0,5 volts, desculpa, e aí ela começa a se passivar perto de zero. Aqui ele mostra que ela tem uma passivação aqui até, foi feita um teste de até 3 milivolts, variando até 3 volts, variando a 1 milivolt por segundo e mostra que essa liga possui um elevado potencial de corrosão, sendo útil para a formação de fios e molas ortodônticas. Essa daqui é uma microscopia feita nessa mesma liga de titânio, após a polarização, ela mostra, aqui é o antes e o depois dela. Ela mostra uma diferença na superfície que é causada pela formação de um filme de óxido. Nessa microscopia a gente não observa a corrosão, principalmente não a corrosão por pite. Esse daqui é o voltamograma cíclico da liga de titânio, ela também tá dispersa. Aqui é o eixo y aqui a intensidade de corrente e aqui o potencial. Ele tem esse primeiro pico, esse primeiro pico é relacionado à oxidação do hidrogênio adsorvido sobre a superfície da liga; depois ele tem uma pequena região de ativação, onde poderia ocorrer alguma corrosão, mas acaba não ocorrendo, no final. Uma região de passivação de larga escala aqui de zero até 2,0... 1,75 milivolts e depois ele tem nessa região, ele é onde cresce o filme de óxido de titânio. Você tem a oxidação de titânio IV que pode formar aqui o óxido de titânio, esse Ti_2O_3 . Depois ele tem mais um pico onde aumenta a espessura daquela camada de óxido e o que é interessante aqui é essa região catódica que apresenta esse pico. Esse pico é o pico referente à redução parcial dos óxidos do titânio IV. Aqui, então ele reduz esses dois titânios e no final da polarização você tem um crescimento de um filme. Você só tem dióxido de titânio, você não tem os outros dois. Esse daqui é um estudo de mercado aí que a gente fez, a gente pegou uns dados na agência Reuters. Esse aqui é o preço em dólar do metal, então, o

quilo do ouro valeria 20.000 dólares, o quilo do paládio 12.000, o quilo da prata 420 dólares e do titânio 12 dólares o quilo. Então aí essa foi a nossa liga escolhida, porque a curva de polarização mostrou que ele tem um elevado potencial de corrosão, a formação de filme de dióxido de titânio já é um revestimento, uma proteção, que por não ocorrer a corrosão por pites, até elevados potenciais, o crescimento de dióxido de titânio, que protege o material, que a gente mostrou pelo voltamograma cíclico que só tem dióxido de titânio, você não encontra os outros dois, tanto o TiO como o Ti_2O_3 , e por ser um metal de baixo custo. Essa daqui foi a nossa escolha. Tinha também os dois revestimentos. A gente optou por mostrar esses dois. O revestimento I é um revestimento com nitreto de titânio, ele tem como vantagem principal o aumento da dureza na superfície; o revestimento 2 é com um revestimento com uma resina epóxi, que tem como sua principal vantagem uma melhor estética da superfície, sendo que os dois são proteções exclusivamente por barreira. Esse daqui também é uma curva de polarização que mostra um ensaio feito com a liga de níquel-titânio, essa liga são duas ligas sem proteção aqui, essa daqui é uma liga que é protegida com nitreto e essa daqui é protegida com a resina epóxi e por essa curva de polarização a gente consegue pegar aqui os *breakdown* potencial, que são potencial onde há o rompimento do filme. A partir desse potencial, há o rompimento desse filme e aí você começa a ter o contato do meio com a liga, favorecendo a corrosão. Você vê que o *breakdown* potencial da resina epóxi é perto de 1800 milivolts, e o *breakdown* potencial da curva do nitreto é próximo a 300 milivolts, sendo bem maior que a do... Essa daqui também é uma microscopia eletrônica daquele experimento, o antes e o depois. Esse daqui mostra o fio, é o fio da liga de níquel-titânio com revestimento de nitreto. Aqui o antes e o depois da curva de polarização. Esse daqui já é a fotografia, a mesma microscopia, só que do fio revestido com epóxi, e aí você pode perceber que quase não houve alteração, mostrando que a proteção do epóxi é muito maior, em altas potências. Então através desse trabalho, desse estudo, foi possível concluir que a liga de titânio se mostrou uma liga mais interessante para as aplicações que a gente queria em comparação às demais ligas, que a gente considerou no trabalho, devido a sua resistência química e ao filme que foi, que apareceu naturalmente, e ao estudo de mercado. Quanto aos revestimentos, o revestimento epóxi apresentou um resultado bem mais satisfatório que o revestimento de nitreto de titânio. Ambos aplicados a ligas de nitreto, de níquel, desculpa. A bibliografia e obrigado (risos, palmas da classe). Queria agradecer ao professor, as meninas e ao pessoal aí.

Grupo G6

Bom gente, boa tarde. A gente vai falar de corrosão em materiais empregados em próteses parcial removível. O grupo sou eu, Aristeu, Jaques e o Renato, o professor é o Amadeu e a monitora é a Ana. Bom, uma introdução: devido ao avanço das ciências e das tecnologias, que vão sendo desenvolvidas cada vez mais vários novos materiais vai sendo empregados em diversas utilidades que vem sendo desenvolvidos, inclusive para essa área que a gente tá pesquisando, que é o uso em aparelhos dentários e a crescente busca que sempre ocorreu e agora também, pela estética do corpo e pelas pessoas, e também por questão de saúde, por questão de mordida e forma do dente, a procura por aparelhos ortodônticos é bem grande. Bom, aqui a gente vai mostrar uma ilustração de algumas partes dos aparelhos, esses são: a retração são os fios utilizados pra apertar o gancho, fio ortodôntico, as amarrilhas, os braquetes, os tubos, as bandas, aqui são os módulos elásticos e os elásticos intermaxilares. Bom, o problema dos aparelhos ortodônticos: um dos principais problemas aqui é o mais interessante pra gente, é que as ligas são suscetíveis à corrosão, porque a saliva é um meio agressivo, devido à composição dela, e ela funciona como um eletrólito para formar um par galvânico entre o... por exemplo, diferentes composições de grãos das ligas que são utilizadas e também, um fator muito importante, é que algumas ligas que inclusive são utilizadas, elas

liberam níquel e cromo, que podem gerar reações alérgicas, se em altas quantidades, podem gerar até a pessoa ficar, levar gerar o câncer. Bom, aqui são algumas ligas que já são utilizadas, a de aço inoxidável, aço inoxidável trançado, a de cromo cobalto, e a de níquel-titânio, que faz parte do grupo que é utilizado em grande escala hoje. E aqui a gente apresenta a composição delas e algumas propriedades e também as limitações, como dureza, maleabilidade, resistência à tração, esse tipo de coisa e, cada uma das duas vai levar a uma determinada função para ela. Dentro dos grupos de ligas de titânio, devido ao tratamento, elas são divididas nesses três grupos. Essa liga tem um tratamento diferente dessa e as ligas de níquel e titânio, elas apresentam também essas propriedades, como rigidez, auto-flexibilidade e também suas limitações. Bom, aqui outras ligas: a de titânio e molibdênio, titânio e nióbio. E aqui a gente já até destacou que são as ligas de prata e paládio, e paládio e prata, que é a Porson 4 e a LTG, que vão ser as que a gente vai dar maior destaque, justamente por que elas apresentam alto potencial de corrosão, tanto uma, quanto a outra. Aqui a gente só quis mostrar alguns modelos de aparelhos, pode ver pela coloração que eles são de materiais diferentes, esse aí é só um molde mesmo, só para mostrar. Bom, fatores que causam a corrosão nos aparelhos dentários: como sempre a formação do “par galvânico” galvânico (risos) do par galvânico. Ele pode ser gerado por diferentes composições dos elementos da liga nos grânulos, corrosão intergranular, que é causada pela saliva, que funciona como eletrólito, e um ponto muito importante também é que esses aparelhos possuem vários pontos onde existem soldas e junções, e a corrosão que vai ocorrer nesse caso é a corrosão localizada nas soldas, porque a solda é feita de material diferente, normalmente gerando esse par galvânico também. Bom, pros ensaios feitos com o trabalho que a gente viu, normalmente, essa é a composição de saliva artificial, e é importante falar que essa composição ela... a composição dela relata como se fosse um meio bucal extremamente agressivo, seriam as condições extremas a que os aparelhos vão ser submetidos. Aqui (risos) dá para encarar, depois a gente vai ver quem vai pegar ela (risos). Bom então, os objetivos do nosso trabalho: verificar a resistência dos materiais existentes frente à corrosão, apresentar proteção contra corrosão para essas ligas, buscar materiais de baixo custo e que não sofram corrosão, sendo assim, encontrar a melhor alternativa para solucionar o nosso caso. Bom... A gente listou o que a gente achou importante, três fatores importantes para solucionar o caso: as ligas precisam ser estáveis e liberar uma quantidade de íons que não seja prejudicial, menor possível. Uma proteção contra a corrosão: podem ser utilizados os filmes e que elas sejam feitas de materiais não tóxicos e de baixo custo, materiais alternativos são os polímeros, silicones e cerâmicas. Bom, então, sendo assim, as características que a gente acredita que sejam ideais pro material é que ele não tenha a presença do par galvânico, quanto menor possível for a quantidade de soldas, ou se possível a ausência delas e que não seja preciso o uso de filmes de revestimentos, porque esses filmes vão aumentar o custo, e a gente acredita que na instalação do aparelho e também pela resistência que ele vai ter que ter no dia-a-dia, ele pode ser degradado facilmente, perdendo assim a função dele. Um desses filmes é esse DCL (*Diamond-Like Carbon*), as propriedades dele são dureza, baixo coeficiente de fricção, inerte quimicamente, resistente à corrosão e ele possui biocompatibilidade, porém ele só foi testado em ligas de níquel-titânio. As vantagens são: que ele possui proteção contra a corrosão e diminuição na quantidade na liberação de níquel, esse já foi testado e a liberação de níquel, após a aplicação dessa proteção, é 1/8 com relação a que é sem ela. Ela realmente diminui a liberação de níquel, porém, ela só pode ser as proteções em filmes, elas só podem ser utilizadas no fio ortodôntico, que é aquilo que a gente mostrou lá no começo e, sendo assim, no fio ortodôntico vão ter soldas e região onde ela vai atritar com outras partes do aparelho, pode ocorrer trincas ou a degradação mesmo do filme, aí assim ele vai perder essa função dele, de proteger contra a corrosão, além de aumentar o custo. Isso aqui a gente entrou em contato com um professor e ele enviou para gente que esses materiais podem sim ser usados

mas, devido às propriedades dele, na instalação do aparelho, devido à tração que esses materiais vão ter que passar, eles trincam com facilidade e, no entanto, eles ainda não podem ser utilizados com muita segurança. Aí as características: elasticidade próxima a dos fios de níquel e titânio, baixo coeficiente de atrito, formabilidade e soldabilidade desconhecidas, esses fios ainda não foram testados quanto a soldabilidade e formabilidade. Bom, então, considerando que os filmes de revestimento elevam o custo do aparelho, além de ser somente aplicáveis nas ligas de titânio e níquel e a soldabilidade dos fios de resina e fibras de vidro ainda são desconhecidas, apesar das ligas apresentarem um custo razoável e apresentarem soldas, a melhor alternativa que a gente achou foi o uso de ligas metálicas, já que, é possível obter ligas com altos potenciais de corrosão, que devido ao alto potencial de corrosão, ela tem maior proteção contra a corrosão (risos) e também essas ligas elas também já não liberam uma grande quantidade de íons no meio bucal, que é importante devido às alergias. Bom, então a gente considera que aqueles fatores são os que a gente considera principais, a menos que a soldabilidade das resinas e das fibras de vidros sejam determinadas, pode ser que num futuro elas venham ser determinadas, e as resinas e fibras apresentem propriedades como rigidez, atrito, soldabilidade melhores que as ligas que são utilizadas. Bom, agora nos resultados a gente já vai partir direto pra descrever as ligas que a gente selecionou e comparar entre elas pra eleger qual foi a melhor. A Porson 4 é uma liga de paládio e prata. Essa de prata e paládio é a Degudent, ela é uma liga nobre, com uma porcentagem bem alta de ouro em torno de 80%; a gente vai utilizar ela mais como um método pra comparação, que a gente sabe que ela é uma liga muito eficiente, porém o custo dela é elevado, então a gente já excluiu ela por isso. Aqui, esses valores que eu vou apresentar, eles foram caracterizados por um método estatístico, então foi comprovado que as “varianças” que são apresentadas são suficientes para diferenciar uma amostra da outra, um resultado do outro. Aqui, a gente tem resultados de potencial de circuito aberto, para as três: de resistência à polarização e de densidade de corrente. Aqui, a gente já pode observar que, para uma mesma densidade de corrente de corrosão a liga Porson 4 apresenta um potencial de circuito aberto e resistência à polarização elevados com relação à outra. Inclusive esses valores já chegam próximo à liga com alta porcentagem de ouro, o que é um indicativo muito bom, portanto, a gente considera que, pelos fatores que a gente vai explicar pela frente, a melhor a ser usada é essa: a Porson 4. Bom, aqui a gente tem um gráfico de potencial de corrosão *versus* tempo, que foi considerado até 24 horas, nesse ensaio, que a gente viu num artigo. Então, aqui a liga Porson 4. A gente pode observar aqui a formação da camada de passivação dela, ocorre num tempo maior porém, ela é mais extensa do que a da LTG, ou seja, quando ela se estabiliza num tempo, num tempo de 24 horas, até onde foi, ela vai se estabilizar num potencial de corrosão mais elevado, do que a da liga LTG, ou seja, você vai precisar de um potencial maior para conseguir correr ela, então ela sofre menos corrosão. Aqui, as curvas de polarização também, para uma e para outra. A gente pode observar aqui, como foi dito anteriormente, que o potencial de corrosão, ele já é maior pra Porson 4 do que para a outra, pra TLG. E aqui, a gente observa a região de passivação, e ela, você pode observar que ela está num intervalo de potencial maior, na faixa de polarização, do que essa, é só aqui, e também você pode observar a partir da curva de polarização que o potencial de corrosão por pite da liga que a gente escolheu é bem mais elevado do que da outra. A gente quis colocar num gráfico esses resultados, para ilustrar mesmo. Aqui a liga com alta porcentagem de ouro, pode ver que ela é realmente melhor e a liga Porson 4 é essa, também acima das outras, e essa aqui é uma liga comumente usada de titânio e níquel. Bom, as micrografias: a partir delas a gente pode perceber as características que foram citadas nos gráficos. Essa é a Porson 4, as áreas mais escuras são a prata e as mais claras são o paládio, tanto nessa, como nessa, mas o que é importante a gente observar é que nessa liga ela apresenta uma rugosidade bem maior, bem mais elevada do que essa. Esse fator pode justificar os potenciais por que uma superfície mais rugosa, ela é mais suscetível à

corrosão, devido à área de contato e ela (inaudível) à formação dos pares galvânicos também. Bom, então as nossas conclusões que a melhor alternativa é o uso de ligas e a melhor liga que a gente encontrou foi a Porson 4, de paládio e prata. Ela apresenta um potencial de corrosão relativamente alto, inclusive comparado com as ligas de ouro e o aumento do potencial de corrosão foi maior, devido à camada de passivação formada, isofilme. Essa liga, ela é considerada nobre segundo a Associação Americana de Ortodontia, apesar dela apresentar um custo mais reduzido. Bom, então nossas referências e tem esse *site* aqui, quem quiser consultar, lá estão não só as patentes que a gente utilizou, mas também a patente de vários outros materiais. Foi o *site* que o professor indicou pra gente, quem quiser conferir pode dar uma olhada lá. Obrigado a todo mundo, ao professor.