

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

A MATEMÁTICA NA FORMAÇÃO DO QUÍMICO CONTEMPORÂNEO

Maria Helena S. S. Bizelli

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Borba

Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática – Área de Concentração em Ensino e Aprendizagem da Matemática e seus Fundamentos Filosófico-Científicos, para a obtenção do título de Doutora em Educação Matemática.

Rio Claro (SP)

2003

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Borba (orientador)

Prof. Dr. Nilson José Machado

Profa. Dra. Edna Maura Zuffi

Prof. Dr. João Frederico da Costa Azevedo Meyer

Prof. Dr. Geraldo Perez

Aluna: Maria Helena S. S. Bizelli

Rio Claro, 12 de Dezembro de 2003.

Resultado: _____

510.07 Bizelli, Maria Helena Sebastiana Sahão
B625m A matemática na formação do químico contemporâneo / Maria Helena
Sebastiana Sahão Bizelli. -- Rio Claro : [s.n.], 2003
iv, 209 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Geociências e Ciências Exatas

Orientador: Marcelo de Carvalho Borba

1. Matemática – Química - Estudo e ensino. 2. Educação matemática. 3.
Informática. I. Título.

Esta tese não poderia ser concluída sem o incentivo, apoio e paciência do meu esposo Waldemar e de minha filha Juliana, pessoas queridas que acrescentam uma dimensão e sentido especial em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Uma vez ouvi alguém dizer que, um dos momentos mais prazerosos do ato de escrever uma tese, é aquele em que o autor tem a oportunidade de agradecer a todos que colaboraram para tornar possível um trabalho dessa natureza. Este é o momento em que é possível e indispensável reconstruir o caminho percorrido e deduzir que, de fato, a construção do conhecimento, por inúmeras razões, é coletiva. Acredito que o sucesso dessa empreitada só foi possível porque existem pessoas especiais em minha vida, que através do seu carinho e apoio vibraram e sofreram comigo durante todo o processo.

Nesse caminho, foram várias as pessoas que, de formas diferentes, colaboraram, voluntariamente ou até mesmo sem o saber e, assim, pude contar com vários auxílios - alguns inesperados, outros menos, outros ainda como decorrência natural de grandes relações de amizade. É, por isso, um prazer enunciar cada um deles e proceder ao seu reconhecido agradecimento.

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por ter me permitido chegar ao final, apesar dos inúmeros tropeços.

Meus sinceros agradecimentos ao Marcelo que, muito mais que um orientador, mostrou-se um grande amigo. Agradeço-o pelos ensinamentos, dedicação, confiança e carinho com que soube moldar minha aprendizagem. Estou grata também pela liberdade de ação que me permitiu, liberdade esta decisiva para que este trabalho contribuísse para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À Juliana, minha filha querida, uma menina quase moça, que nem imagina como me inspira a querer ser uma mãe, amiga e pessoa cada vez melhor.

Em especial tenho que agradecer ao Waldemar, companheiro, esposo e amigo, por todo o amor e carinho, ajuda, motivação e confiança em mim depositada, por ter me apoiado nos bons e nos maus momentos e suportado minha falta de atenção para com ele e para com a nossa casa, pela compreensão e por ter apresentado sugestões e encontrado soluções, nos períodos de maior aflição.

Não poderia deixar de agradecer também, a todos os colegas que estiveram ao meu lado no GPI MEM, pela constante disponibilidade em discutir, analisar, ler e reler desde a primeira até a última versão deste trabalho, contribuindo, sobremaneira, para que a versão final esteja mais completa, mais coerente e com menos erros. Além disso, não posso deixar de agradecê-los também pelo apoio, carinho, estímulo e cumplicidade dedicados a minha pessoa.

Por fim, gostaria de estender os meus agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente foram auxiliando, ao longo de todos estes anos, para com a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

Índice	i
Resumo	iii
Abstract	iv
Capítulo 1: O Caminho da Pesquisa	1
Capítulo 2: Referencial Teórico	15
Capítulo 3: Organização do Currículo de Matemática nos Cursos	
De Química	55
Capítulo 4: Matemática em Serviço	64
Capítulo 5: Metodologia	87
Capítulo 6: Apresentação dos Dados	100
Capítulo 7: Os Dados à Luz da Literatura	131
Capítulo 8: Considerações Finais	161
Bibliografia	181
Apêndice	189

ÍNDICE

Capítulo 1: O Caminho da Pesquisa	1
Estrutura da Tese	12
Capítulo 2: Referencial Teórico	15
2.1. Uma visão Geral da Química	16
2.2. Considerações sobre a Relação da Química com a Matemática	29
2.3. A Necessidade de uma Reforma Curricular no Ensino Superior	38
2.4. As Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química no Brasil	47
Capítulo 3: Organização do Currículo de Matemática nos Cursos de Química	55
3.1. A Matemática nos Cursos de Química	60
Capítulo 4: Matemática em Serviço.....	64
4.1. A Matemática como Disciplina em Serviço	64
4.1.1. Por que Ensinar Matemática?	67
4.1.2. O que Ensinar de Matemática?	70
4.1.3. Quem deve Ensinar Matemática?	73
4.1.4. Como Ensinar Matemática?	76
4.2. A Influência dos Computadores	80
4.3. Ainda sobre a Matemática em Cursos em Serviço	83

Capítulo 5: Metodologia	87
5.1. A Escolha e a Justificativa da Metodologia	88
5.2. Obtenção dos Dados	90
5.2.1. Os Participantes do Estudo	90
5.2.2 Os Procedimentos e Instrumentos de Coleta de Dados	91
5.2.2.1. As Entrevistas	93
5.2.2.2. Os Questionários	94
5.3. Análise dos Dados	96
Capítulo 6: Apresentação dos Dados	100
6.1. Ensino de Matemática na formação dos químicos - Algumas concepções dos químicos docentes	100
6.1.1. As razões de se ensinar Matemática para os químicos	102
6.1.2. A maneira de se ensinar Matemática para os químicos	109
6.1.3. Quem deve ensinar Matemática para os químicos	114
6.1.4. Os conteúdos matemáticos importantes para a formação dos químicos	115
6.2. Ensino de Matemática na profissão dos químicos - Algumas concepções dos profissionais químicos	125
Capítulo 7: Os Dados à Luz da Literatura	131
7.1. As razões de se ensinar Matemática para os químicos	132
7.2. Os conteúdos matemáticos importantes para a formação dos químicos	138
7.3. A maneira de se ensinar Matemática para os químicos	144
7.4. Quem deve ensinar Matemática para os químicos	157
Capítulo 8: Considerações Finais	161
Bibliografia	181
Apêndice	189

RESUMO

Este trabalho analisa aspectos relativos à Matemática, como disciplina em serviço, na formação dos químicos contemporâneos, segundo o ponto de vista dos químicos docentes de várias Instituições de Ensino de Química do Brasil e de alguns profissionais químicos. Discute o problema das reformas curriculares e da organização curricular dos cursos de Química do Brasil e apresenta subsídios para uma possível proposta curricular de Matemática, através de reflexões e de algumas sugestões relacionadas com as questões *"Por que ensinar?"*, *"O que Ensinar de Matemática?"*, *"Como Ensinar Matemática?"* e *"Quem Deve Ensinar Matemática para os químicos?"*. Com base nessas reflexões, aponta novos e possíveis caminhos para as discussões sobre a organização dos currículos de Matemática nos Cursos de Química do Brasil.

Palavras-chave: Ensino de Matemática, Currículo, Matemática em Serviço, Química, Informática.

ABSTRACT

This work analyzes aspects related to Mathematics, as a discipline in service, in the formation of contemporary chemists, according to the point of view of the chemistry professors of several Institutions of Chemistry Education and some chemistry professionals in this country. It deals with the problem of curricular reforms and organization of Chemistry courses in Brazil. It also presents subsidies for a possible curricular purpose of Mathematics, through reflections and of some suggestions related to the questions: "Why to teach Mathematics", "What to teach in Mathematics", "How to teach Mathematics" and "Who must teach Mathematics for chemists". Based on these reflections this work points out new and possible ways for discussion on the curricular organization of the Mathematics in the Chemistry Courses in Brazil.

Keywords: Mathematics Education, Curriculum, Mathematics in Service, Chemistry, Technologies.

Capítulo 1

O Caminho da Pesquisa

Freqüentemente, a formulação de um problema é mais essencial que sua solução."

Albert Einstein

Nos dias de hoje, num mundo em que o avanço tecnológico e as transformações sociais e econômicas acontecem em um ritmo extremamente acelerado, a maioria das instituições de ensino encontra-se ainda amarrada a parâmetros que, se deram certo na formação profissional de gerações passadas, hoje em dia necessitam de grandes ajustes.

O processo de mudanças sociais e econômicas, junto ao surgimento de novas tecnologias, tem levado educadores e pesquisadores a questionarem os métodos tradicionais de ensino. Particularmente o ensino de Matemática, no Brasil e em diversas partes do mundo, tem sido alvo de grandes reflexões, várias discussões e de muitas críticas.

Percebe-se ainda a existência de uma preocupação muito grande, por parte de alunos e docentes, com o objetivo de se aprender Matemática, principalmente em disciplinas em serviço¹, onde ela não é tida

¹ "disciplinas em serviço" é entendido aqui como disciplinas da matemática, ministradas por professores de matemática em cursos para não-matemáticos (Howson et al, 1988^o) como por exemplo, Estatística

como a principal do currículo. Aliado a essa preocupação, está o fato das enormes dificuldades apresentadas pelos alunos na aprendizagem de conceitos relacionados às disciplinas da área da Matemática.

Atuando como professora da área de Matemática, Estatística e Computação Científica no Instituto de Química da UNESP – Campus de Araraquara (SP), preocupo-me, particularmente, com o ensino de Matemática voltado à formação do Químico.

Minhas preocupações com o Ensino, e em particular com o Ensino de Matemática, iniciaram-se no momento em que me percebi no papel de docente do Colégio Progresso² na cidade de Araraquara, SP, onde eu residia. Nesta época, algumas questões incomodavam-me bastante:

- Por que a maioria dos alunos não se interessa pela Matemática?
- Por que os alunos têm tanta dificuldade em aprender Matemática?
- Como e o que fazer para aumentar o interesse e minimizar as dificuldades na aprendizagem?

Naquele momento não me sentia em condições de compreender e nem de obter respostas para tais questões, uma vez que não dominava a área educacional e pedagógica, nem de um ponto de vista mais amplo, mais científico, nem de um ponto de vista prático.

As preocupações com o Ensino de Matemática se intensificaram com meu ingresso no quadro docente da UNESP, em 1988, como

para o curso de Farmácia e Odontologia, Cálculo Diferencial e Integral para os cursos de Química, Física, Biologia, Geologia ou Engenharia, etc.

² O Colégio Progresso é uma Instituição de Ensino Fundamental e Médio, onde atuei como docente das 8^{as} Séries e do Colegial, durante um ano e meio. Pode-se dizer que foi minha primeira experiência como docente.

professora assistente frente às disciplinas da área de Matemática do Instituto de Química de Araraquara. As inquietações e questionamentos, sempre presentes desde o início de minha vida profissional, intensificaram-se e transformaram-se em várias outras:

- Em relação ao perfil do aluno ingressante na Universidade (em particular nos cursos de Química), como adequar esse aluno ao nível necessário para o bom desempenho do curso?
- O computador poderia ser utilizado de alguma forma para ajudar? Ele é realmente necessário?
- Dentro do conteúdo de Matemática, quais os tópicos dispensáveis e quais os indispensáveis como responsabilidade da área da Matemática?
- É necessário um grande número de exercícios para fixação de uma teoria?
- A ausência de algum tópico no conteúdo de Matemática, do curso de Química, poderia gerar algum tipo de prejuízo?
- É possível formar um Químico sem o Cálculo Diferencial e Integral?

Essas questões vinham ao encontro do processo de reestruturação e adequação pelo qual passavam as disciplinas de Matemática, do já referido Instituto de Química, dentro de uma proposta de reforma curricular do curso de Química que se encontrava em andamento e continua até os dias de hoje.

Algumas dessas questões surgiram a partir de comentários de alunos que, de maneira geral, eram feitos em relação à Matemática:

- Para que serve esta Matemática que estou estudando?
- Não vejo aplicações da Matemática no curso de Química. Passei em todas as disciplinas que dizem precisar de Matemática e não consigo passar em Matemática.

Além disso, alguns docentes afirmavam:

- Se os alunos souberem regra de três e porcentagem, é o suficiente.

Comentários desse tipo aliados ao meu descontentamento com o ensino e a aprendizagem da Matemática em um curso de Química, levaram-me a questionar a importância de um conhecimento matemático para a formação de um químico.

Naquele momento ainda estava envolvida no Programa de Doutorado em Análise Matemática, do ICMSC-USP e o mesmo se encontrava totalmente à margem do trabalho que vinha desenvolvendo frente às disciplinas da área da Matemática do Instituto de Química. Esse trabalho estava relacionado ao Ensino de Matemática para Químicos e o programa não me fornecia subsídios necessários para que pudesse aprofundar-me nas questões que me preocupavam e tentasse buscar respostas para elas.

Assim, vi a necessidade de procurar novos horizontes que me permitissem essa busca e foi então que tomei conhecimento do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática da UNESP, Rio Claro, SP, passando a frequentá-lo como aluna especial.

Meu contato com a Educação Matemática e seus pressupostos filosóficos e científicos, nessa época, era quase nenhum. Tinha um certo conhecimento, pode-se dizer bastante superficial, obtido através de conversas com uma das docentes, do departamento em que eu trabalhava, que estava vinculada a esse programa de Pós-Graduação.

Como aluna especial do programa, num primeiro momento, estranhei bastante as leituras e discussões propostas uma vez que eram posturas e enfoques totalmente novos para mim que tinha uma formação puramente matemática. Contudo, a par de todas as dificuldades, nesse tempo que estive em Rio Claro consegui, longe de encontrar soluções, clarear algumas

dúvidas e inquietações iniciais e uma nova pergunta começou a se delinear e que, se respondida inicialmente, permitiria que se abordassem as outras de uma maneira mais adequada. Essa pergunta é:

Qual é o papel da Matemática na formação e na profissão do químico contemporâneo?

De posse dos meus questionamentos acerca da relevância da Matemática para a formação e profissão do químico contemporâneo, fui buscar na literatura estudos que me permitissem fundamentar as particularidades de tais inquietações.

Através da literatura estudada, pude perceber, logo de início, que meus questionamentos e meu descontentamento em relação ao ensino e a aprendizagem da matemática para químicos eram compartilhados com muitos colegas que dão aula de matemática em disciplinas em serviço.

Além disso, pude constatar a existência de um número bastante reduzido de investigações que tratavam da temática proposta para o desenvolvimento desse estudo. Tal fato deixou-me ao mesmo tempo estimulada a investigar com minúcia o assunto em questão, como também trouxe um certo desconforto quanto à falta de estudos que pudessem estar referenciando a pesquisa em questão.

Pude também observar, através da literatura estudada, que nas universidades brasileiras, de uma maneira geral, muito pouco tem sido feito no sentido de contemplar tanto as novas, quanto às velhas discussões a respeito da formação do conhecimento matemático do graduando, principalmente quando relacionado a disciplinas em serviço. Até mesmo nas áreas de ciências exatas e tecnologia, onde tradicionalmente os conteúdos

matemáticos são pré-requisitos, vemos ainda poucas iniciativas concretas no sentido de modificar o currículo e o processo de ensino/aprendizagem da Matemática.

Observando mais atentamente o currículo do ensino superior, de uma maneira geral, podemos notar uma acentuada rigidez nas grades curriculares dos cursos de graduação, que parecem ter sido elaboradas de maneira a enquadrar o aluno em um padrão predeterminado que, teoricamente, deveria capacitá-lo para adquirir a melhor formação dentro de seu campo profissional.

Essa rigidez traz consigo problemas relacionados com cargas horárias excessivas e, não raro, fragmentação de conteúdos cujo vínculo é buscado através de uma seqüência rígida de pré-requisitos. No entanto, a articulação entre os programas das disciplinas que compõem a grade curricular mostra-se bastante frágil. No modelo compartimentalizado dos currículos atuais, observa-se a justaposição de disciplinas, cujos professores não tecem comentários com os alunos acerca das relações entre suas disciplinas e as demais que compõem a grade curricular do curso em questão. A sobreposição dos mesmos conteúdos, que aparecem em diferentes disciplinas, com enfoques por vezes antagônicos ou dissociados entre si, tem sido alvo de críticas tanto por parte de estudantes quanto de docentes.

Uma outra situação bastante problemática é o fato dos programas das disciplinas serem às vezes modificados pelo professor, sem que a alteração seja comunicada às Câmaras Departamentais e/ou Colegiados, e sem que esteja articulada com a filosofia das diretrizes curriculares que norteiam o curso em questão.

Outro aspecto bastante crítico do currículo, da maneira como ele é concebido atualmente, está relacionado com o excesso de centralização do processo de ensino no professor que, na melhor das hipóteses, recria e reinterpreta o conhecimento para então repassá-lo para o aluno. Esse processo acaba por transformar o aluno em elemento passivo da aprendizagem impedindo que ele exerça sua capacidade de compreensão e estruturação dos problemas e que venha a buscar por si só soluções para eles.

Levando em conta os aspectos apresentados anteriormente, os princípios estabelecidos pela LDB e demais instruções do MEC e CNE acerca do ensino de graduação, recomendam que profundas alterações, inclusive de ordem conceitual, devam ser introduzidas na estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação.

Diante do quadro anteriormente apresentado, e dos inúmeros problemas³ que os alunos de um curso de Química apresentam em relação à Matemática, é de se estranhar a quase total inexistência de estudos que discutam a relação da Matemática com a Química, de uma maneira mais aprofundada. Em relação à pesquisa bibliográfica, foram encontrados pouquíssimos estudos que, por exemplo, discutam o ensino de Matemática em um Curso de Química em nível de terceiro grau. A literatura apresenta apenas alguns artigos, cujos autores discorrem a respeito, segundo sua própria visão quanto ao assunto.

Entre os poucos estudos encontrados, apenas dois apresentam os conceitos matemáticos considerados importantes para um aluno

de um curso básico universitário de Química (Dence,1970; Doggett,1997). Dentre os restantes, alguns discutem questões relacionadas com a Matemática e o ensino de Ciências em nível de ensino médio (Malpas,1973; Ingle & Turner,1981), enquanto outros apontam a falta de preparação matemática dos alunos como uma das causas de problemas relacionados aos cursos de Química (Williams, 1952; Cole et al,1998) sem efetivamente explicitar que problemas são estes.

A literatura estudada aponta ainda para o fato de que, apesar de hoje em dia existir uma maior consciência da importância da matemática para a compreensão e o desenvolvimento de muitos aspectos importantes da Química, pouquíssimos estudos revelam que matemática é essa, e nenhum deles revela qual é o ponto de vista dos químicos docentes quanto ao papel que a Matemática representa para a formação dos profissionais químicos contemporâneos. Além disso, não existe estudo algum que esclareça quais os conceitos matemáticos que, efetivamente, os químicos utilizam no dia-a-dia em suas diversas atribuições não havendo então questionamento em relação a essa questão.

Nesse estudo pretendo suprir algumas das lacunas deixadas por essas pesquisas, procurando contribuir para que se tenha uma visão melhor da relação da Matemática com a Química e para com as discussões acerca das disciplinas da Matemática em serviço.

Assim, o problema central abordado neste estudo é buscar uma compreensão sobre:

³ Tais problemas estão relacionados, basicamente, com a falta de base, em relação à Matemática, com que os alunos chegam à Universidade e a conseqüente dificuldade que apresentam no que diz respeito

A Matemática na formação dos químicos contemporâneos.

com o amparo das seguintes perguntas:

1. Qual é o ponto de vista dos químicos docentes sobre a Matemática para a formação dos químicos?
2. Qual é o ponto de vista dos químicos não-docentes sobre a Matemática para a profissão dos químicos?
3. Que Matemática é utilizada pelos químicos em suas diversas atribuições?

O objetivo deste estudo é então discutir a relação da Química com a Matemática sob vários aspectos e, além disso, procurar estabelecer um quadro de conceitos matemáticos utilizados pelos químicos em algumas de suas atividades, procurando relacioná-los com algumas das áreas de atuações dos químicos.

Para atingir esse objetivo procurei inicialmente, através da literatura existente a respeito, compreender como, quando e de que maneira se constituiu a relação entre a Química e a Matemática, ou seja, como e quando é que a Química começou a utilizar a Matemática como "aliada", isto é, passou a se "matematizar" e como esta se apresenta nos dias de hoje. Através das minhas primeiras leituras acerca da relação entre a Química e a Matemática, pude perceber que sabia muito pouco sobre a Química, apesar de trabalhar em um Instituto de Química.

Devo confessar que, até o momento em que me propus a realizar este estudo, não havia integração nenhuma de minha parte (e posso até ousar dizer, de todo o grupo da Matemática) com as demais disciplinas do currículo. Minha atuação limitava-se apenas a ministrar as aulas de Matemática, que eram totalmente descontextualizadas da Química e da Física.

Assim, uma de minhas preocupações foi procurar conhecer um pouco mais sobre a Química e sobre a formação do químico, de uma maneira geral.

É interessante abrir um parêntese aqui para observar que logo depois de eu haver iniciado o desenvolvimento deste estudo, as disciplinas da Matemática do Instituto de Química já se apresentavam com outra “cara”. Tanto de minha parte, como dos demais integrantes do grupo, houve uma visível mudança tanto em relação à nossa postura como docente, quanto aos métodos e conteúdos das disciplinas da Matemática. Também, pude sentir uma valorização muito maior, tanto por parte dos alunos quanto dos docentes e da própria direção, em relação ao nosso trabalho frente ao Instituto. Tal fato também serviu para que eu tivesse uma maior certeza de estar caminhando na direção certa.

Num determinado momento, comecei a observar que apenas a literatura existente e que se relacionava de alguma forma com a proposta do meu estudo, não seria suficiente para dar conta das minhas inquietações. Decidi assim, buscar junto aos químicos docentes e não-docentes dados para que eu pudesse compreender melhor o papel que a Matemática representa na formação do químico contemporâneo.

Nesse sentido, busquei compreender o ponto de vista dos químicos docentes, em relação ao papel da Matemática na formação profissional de um químico e, paralelamente, saber que matemática é utilizada pelos químicos docentes e não-docentes em suas atividades profissionais diárias. Embora esta pesquisa, não tenha, a princípio, como escopo, a elaboração de uma proposta curricular para as disciplinas de Matemática em um curso de Bacharelado em Química, espero gerar uma reflexão visando uma

possível reestruturação das disciplinas de Matemática no curso de Química, em nível superior, tanto do ponto de vista da elaboração de um currículo mais adequado, quanto do desenvolvimento de procedimentos metodológicos, que proporcionem uma mudança nos processos de ensino e aprendizagem da Matemática para os químicos contemporâneos.

Além dessas possíveis contribuições que esse estudo poderá vir a oferecer, é importante salientar sua importância para o meu caminhar profissional, no que diz respeito aos enormes ganhos que esta investigação poderá oferecer para o meu próprio desenvolvimento como educadora frente às disciplinas das quais sou responsável no Instituto de Química de Araraquara.

ESTRUTURA DA TESE

A estrutura da tese se apresenta da seguinte maneira:

Capítulo 1 – Nesse capítulo apresento o problema que me levou a desenvolver o estudo proposto (descontentamento com o ensino de Matemática para químicos) à luz de minha trajetória pessoal; os objetivos da pesquisa, inserindo-a rapidamente no âmbito da literatura; aponto os aspectos negligenciados por estudos anteriores e concluo explicitando a relevância/importância do estudo proposto.

Capítulo 2 – O estudo que se constitui como objeto desse trabalho, tem como proposta buscar uma compreensão sobre a Matemática na formação e profissão do químico contemporâneo. Desse modo, entendo que antes de buscar essa compreensão, torna-se necessário conhecer um pouco sobre a química, qual é o perfil desejado, pela sociedade atual, para o

profissional químico contemporâneo, como se deu a relação entre a Química e a Matemática e como ela se apresenta nos dias de hoje. Além disso, um dos objetivos deste estudo é adquirir subsídios para uma possível reestruturação curricular das disciplinas da Matemática no curso de Química em nível superior. Assim, procuro discutir um pouco o problema das reformas curriculares e da organização curricular dos cursos de Química no Brasil, atentando para o fato de que não se tem levado em consideração pesquisas como a proposta nesse estudo, na alteração da estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação.

Capítulo 3 - Levando em conta que um dos objetivos desse estudo é adquirir subsídios para uma possível reestruturação das disciplinas de Matemática que fazem parte da grade curricular de um Curso de Química, a finalidade desse capítulo é apresentar a organização do currículo de Matemática dos cursos de Química.

Capítulo 4 - Nesse capítulo procuro situar, na literatura existente sobre o tema, a problemática da Matemática como disciplina em serviço e o mérito dessas disciplinas para a formação do profissional, levando em conta o fato de que o descontentamento, apontado nesse estudo, relacionado com as disciplinas da matemática no curso de Química, tem sido também observado, de uma maneira geral, em várias outras disciplinas em serviço no ensino superior.

Capítulo 5 - Nesse capítulo apresento os procedimentos metodológicos utilizados para a realização dessa pesquisa. Tais procedimentos

incluem: a escolha e a justificativa da abordagem de pesquisa que orienta o estudo, as etapas de desenvolvimento do estudo, a descrição do contexto, os procedimentos e o instrumental de coleta e análise dos dados, além de um relato sobre as dificuldades encontradas durante o processo de desenvolvimento do estudo.

Capítulo 6 - A finalidade deste capítulo é apresentar alguns aspectos relevantes da Matemática para a formação dos químicos, a partir do ponto de vista dos químicos docentes de várias Instituições de Ensino de Química do país e de alguns profissionais químicos.

Capítulo 7 - Depois de apresentar os dados, no capítulo anterior, considerando a questão central desse estudo - *buscar uma compreensão sobre o papel da Matemática na formação do químico contemporâneo* - nesse capítulo, retomo cada um dos temas levantados, analisando-os, agora à luz da literatura estudada levando em conta também minha experiência como docente responsável pelas disciplinas da área de Matemática e Estatística do Instituto de Química de Araraquara.

Capítulo 8 - Depois de elaborada a análise dos dados, à luz da literatura estudada e levando em conta minha experiência como docente de Matemática em um Instituto de Química, no capítulo anterior, apresento neste capítulo minhas conclusões além de minhas considerações finais com relação a este estudo.

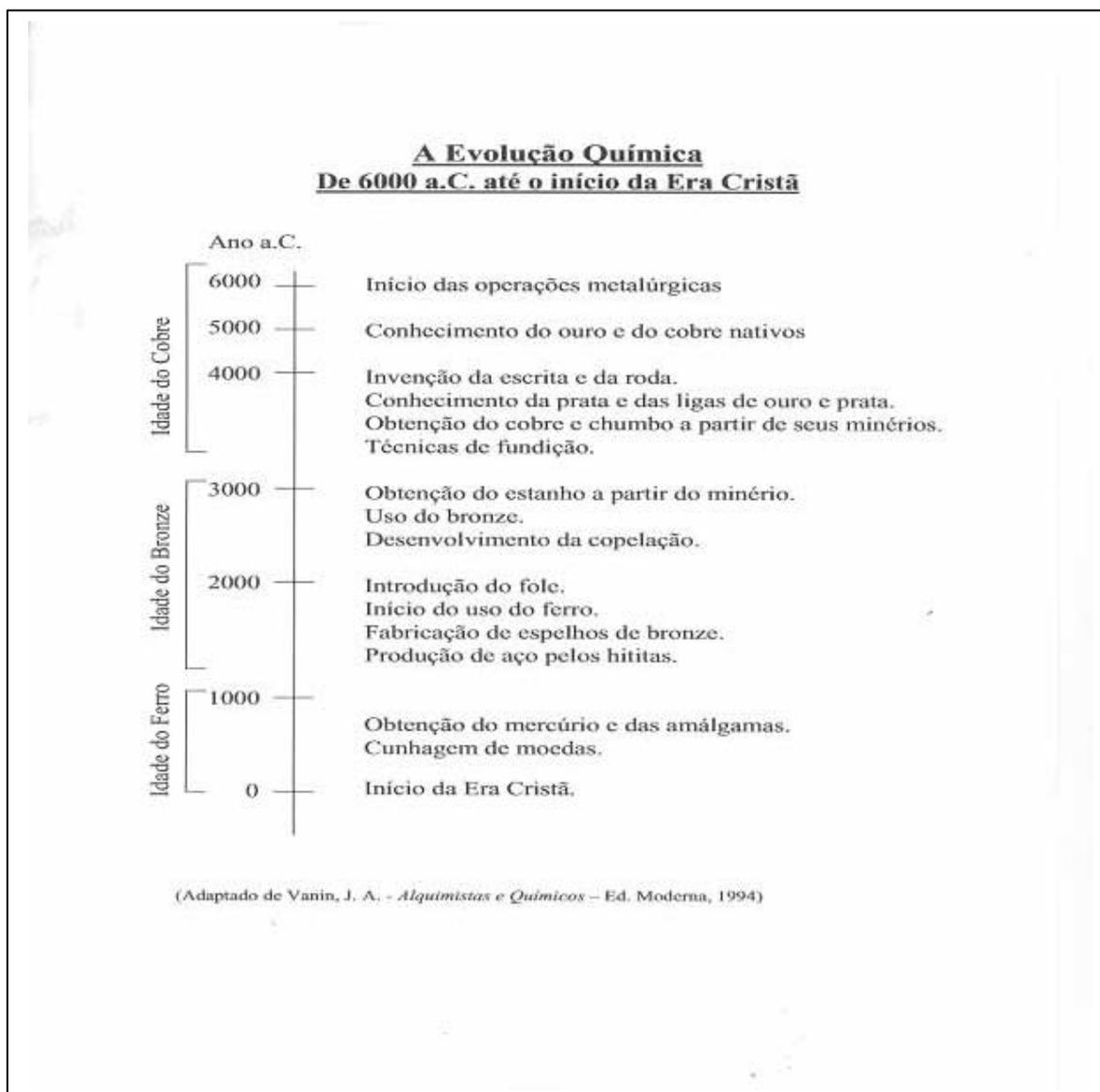
Capítulo 2

Referencial Teórico

O estudo que se constitui como objeto desse trabalho, tem como proposta buscar uma compreensão sobre a Matemática na formação e profissão do químico contemporâneo. Desse modo, entendo que antes de buscar essa compreensão, torna-se necessário conhecer um pouco sobre a Química, qual é o perfil desejado, pela sociedade atual, para o profissional químico contemporâneo, como se deu a relação entre a Química e a Matemática e como ela se apresenta nos dias de hoje. Além disso, um dos objetivos deste estudo é adquirir subsídios para uma possível reestruturação curricular das disciplinas da Matemática no curso de Química em nível superior. Assim, procuro discutir um pouco o problema das reformas curriculares e da organização curricular dos cursos de Química no Brasil, atentando para o fato de que não se tem levado em consideração pesquisas, como a proposta nesse estudo, na alteração da estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação.

2.1. Uma visão geral da Química

A EVOLUÇÃO DA QUÍMICA De 6000 a.C. até o início da Era Cristã



(Adaptado de Vanin, J. A. - *Alquimistas e Químicos* - Ed. Moderna, 1994)

A EVOLUÇÃO QUÍMICA

Início da Era Cristã até os dias de hoje



(Adaptado de Vanin, J. A. - *Alquimistas e Químicos* - Ed. Moderna, 1994)

Química é a ciência que estuda as substâncias, sua estrutura, propriedades e as reações que as transformam em outras substâncias (Linus Pauling). É a ciência que lida com as propriedades, composição e estrutura das substâncias (definidas como elementos e compostos), as transformações que

com elas ocorrem e a energia que é liberada ou absorvida durante esses processos.

Assinalar a partir de quando o ser humano passou a ter consciência da Química é muito difícil. Possivelmente, um dos primeiros fenômenos observados por nossos antepassados pré-históricos foi o fogo, provocado por algum fenômeno natural. Assim, pode-se dizer que a primeira reação química realizada pelo homem foi a combustão. Já no Período Paleolítico, há cerca de 400.000 anos, o fogo era utilizado na confecção de armas e na obtenção de energia, principalmente, para seu aquecimento e no preparo de alimentos.

Posteriormente, no Período Neolítico o fogo também era utilizado para o cozimento de argilas destinadas à fabricação de cerâmica. Nesse período o homem já produzia peças de cerâmica em fornos, bem como aprendeu a produzir tintas primitivas a partir de carvão e minerais com diferentes colorações. O domínio do fogo foi um grande salto tecnológico, pois permitiu ao homem uma grande melhoria nas suas condições de vida.

Por volta de 6000 a.C. o homem já conhecia o cobre e o ouro, que eram extraídos em seu estado metálico diretamente do solo e trabalhados pela técnica de martelamento. Entre o período que vai de 4000 a 3000 a.C. já se conhecia as técnicas de obtenção de cobre e chumbo a partir de seus minérios, encontrados então muitas vezes na forma de óxidos metálicos ou como sulfetos. O homem percebeu que a partir da mistura de algumas rochas obtinha-se uma liga metálica com propriedades diferentes em comparação aos metais puros.

Foi assim que se produziu o bronze (3000 a.C.), uma liga de cobre (90%) e estanho (10%), que era facilmente moldada e apresentou várias aplicações, sendo rapidamente difundida pelo Oriente Médio, Creta, Grécia e Mediterrâneo. A sua utilização foi tão importante neste período que se passou a denominá-lo "Idade do Bronze". Entre 2000 e 1000 a.C. foram fabricados os primeiros espelhos, que eram ligas de bronze com alto teor de estanho e refletiam muita luz. A partir de 2000 a.C. foi introduzido, nas fundições, o fole (que permitia a injeção de mais ar nos fornos) e a partir daí teve início o uso do ferro.

A difícil metalurgia do ferro explica a utilização tardia do metal, que era obtido a partir dos seus óxidos metálicos. Mais ou menos nesse período, o homem aprendeu a controlar as impurezas do ferro, produzindo-se o aço, que contém até 1,7% de carbono, e era bastante utilizado na fabricação de espadas.

Por volta do ano 1000 a.C. o mercúrio, cuja característica era dissolver vários metais, formando amálgamas, passou a ser obtido a partir de seus minérios. Um dos principais empregos das amálgamas naquela época era a aplicação de ouro sobre superfícies de bronze ou prata, técnica conhecida como douração. A partir do ano 700 a.C. desenvolveu-se a cunhagem de moedas, que auxiliaram na organização das sociedades e no intercâmbio entre os povos da época. Na química doméstica, desenvolveram-se as técnicas da salga e de defumação de carnes, que permitiram conservá-las por longos períodos de tempo, e a utilização dos produtos gasosos da queima de enxofre como desinfetante.

A descoberta da fermentação permitiu a produção da cerveja (6000 a.C.), de vinhos de tâmara e de uva (4000 a.C.) e do vinagre. A conservação de peles, utilizando compostos vegetais, era uma herança da pré-história. A tinturaria também já era conhecida há muito e o emprego de corantes minerais como cosméticos já era prática comum dos egípcios. A mumificação de cadáveres era uma técnica utilizada comumente no Egito, bem como a destilação e extração de produtos naturais a partir de plantas. Os egípcios também conheciam o gesso e dominavam a produção de vidro colorido desde o século XIV a.C..

Dos tempos pré-históricos até o início da Era Cristã as culturas Sumérias, Babilônica, Egípcias e Gregas estavam progredindo. Durante a maior parte deste período, o misticismo e a superstição prevaleceram sobre o pensamento científico. Nessa época, muitas pessoas acreditavam que os processos naturais eram controlados por espíritos, e que eles poderiam se utilizar magia para persuadi-los a agir em seu favor. Muito pouco conhecimento químico foi conseguido, mas alguns elementos tais como o Ferro, Ouro e Cobre foram reconhecidos.

Durante este tempo, os filósofos gregos Tales e Aristóteles especularam sobre a composição da matéria. Eles acreditavam que a Terra, o Ar, o Fogo e a Água (alguns acreditavam em uma quinta substância conhecida como "quintessência", ou "éter") eram os elementos básicos que constituíam toda a matéria. No fim dessa era, as pessoas aprenderam que o Ferro poderia ser conseguido a partir de uma rocha marrom escura, e o bronze poderia ser obtido combinando-se cobre e latão. Isso os levou a imaginar que se uma

substância amarela pudesse ser combinada com uma mais dura, seria possível obter ouro. A crença de que o ouro poderia ser obtido a partir de outras substâncias deu início à Alquimia.

A origem da Alquimia perde-se no tempo. Para Ana Goldfarb (2001), a Alquimia surge no período histórico que Karl Jaspers chama de “tempo eixo” – entre 800 a.C. a 200 a.C., período em que se verifica o surgimento no oriente do confucionismo, taoísmo e budismo e, no oriente, do Zoroastrismo, das profecias judaicas e da filosofia grega. Mas para nós ocidentais, o berço da alquimia é o Egito, no começo da era cristã, na cidade de Alexandria, onde a alquimia tomou as feições que até hoje conserva.

Seus praticantes, os alquimistas, eram pessoas com grandes conhecimentos práticos de metalurgia, química e astronomia e que buscavam nas teorias gregas as explicações para a transformação da matéria. Eles não tinham a intenção de investigar ou pesquisar, mas caracterizavam-se pela busca de: *A Pedra Filosofal* – capaz de transformar todas as coisas em ouro; e o *Elixir da Longa Vida* – xarope capaz de manter os homens eternamente jovens.

Duas correntes de pensamento sobre a constituição da matéria dividiam os gregos nessa época. A primeira teoria (teoria dos elementos) propunha que a matéria seria divisível até o infinito, e que as substâncias eram formadas pela combinação dos quatro elementos fundamentais, terra, fogo, água, ar e, além dos quatro elementos, as qualidades quente, seco, frio e úmido. Cada par de qualidades definiriam um elemento. Para se transmutar um elemento em outro seria necessário operar sobre uma das qualidades do par.

A teoria atômica defendia que a matéria seria divisível até um determinado ponto e a partir deste ponto seria indivisível. Estes blocos indivisíveis seriam os "átomos" e as substâncias seriam formadas pela combinação dos átomos. Dessa forma, uma substância sólida é dura, pois seus átomos estariam muito entrelaçados e presos por ganchos e uma substância líquida seria mole porque seus átomos seriam lisos e redondos.

Mas a Idade Média foi uma época em que o homem tinha seu espírito muito preocupado com a salvação e a divindade. A teoria atômica, por ser uma teoria materialista, não teve sucesso. Só no período da Renascença, quando o homem volta a ter um pensamento mais humanista, é que as concepções atômicas são valorizadas.

Entre as principais substâncias descobertas pelos alquimistas estão o hidróxido de potássio, cloreto de amônio, óxido de zinco e sulfatos de vários metais. Eles também preparavam o ácido sulfúrico, ácido clorídrico, ácido nítrico, água régia e etanol. Os alquimistas faziam geralmente ensaios por *vía seca*, o que calcinava as amostras, de modo que somente a parte inorgânica das substâncias era trabalhada.

Assim, a Alquimia deixou várias contribuições para a química, como subproduto de seus estudos, dentre eles podemos mencionar: a pólvora, a porcelana, vários ácidos (ácido sulfúrico), gases (cloro), metais (antimônio), técnicas físico-químicas (destilação, precipitação e sublimação), além de vários equipamentos de laboratório.

Apesar de muitos considerarem a Alquimia como uma antecessora da química moderna, existe uma diferença que faz com que alguns

não a considerem como uma pré-química. Podemos dizer que existe entre as duas a mesma relação que existe entre a Astrologia e a Astronomia, e a mesma diferença: uma é de caráter nitidamente espiritualista e a outra, essencialmente materialista.

Na obra *Da Alquimia à Química*, de Alfonso-Goldfarb (2001), encontramos o seguinte texto acerca da Alquimia:

‘Trata-se, portanto, de uma cosmologia, ou uma forma de conhecimento do mundo. A matéria era interpretada através da ritualística mágica, entregando ao alquimista segredos do cosmo que o levariam ao conhecimento de si próprios’.

Podemos dizer que diferença entre Alquimia e Química está diretamente relacionada à visão de mundo entre estes dois conhecimentos. A Química recebeu da Alquimia a simbologia, os instrumentos de laboratórios, determinados procedimentos nas experiências e, no entanto, a Química recebeu a influência da mecânica física que estabeleceu uma outra relação com a natureza. Os alquimistas acreditavam, por exemplo, que os elementos se combinam através de uma afinidade eletiva, o que indicaria que certos elementos se combinam com estes e não com aqueles. Na Química, os elementos se combinam devido às suas características físicas e não devido à afinidade entre os elementos.

Desde o final do século XVI, a Alquimia já começava a sucumbir diante do avanço científico, iniciando-se assim um novo período, em que surgiam os experimentos de cientistas como Robert Boyle (1627-1691), Georg Ernest Stahl (1660-1734) e Henry Cavendish (1731-1810).

Contudo, a nova ciência tinha suas raízes fincadas em um solo pouco firme e tudo precisava ser construído e conferido. A corrente dos chamados mecanicistas teve seu apoio principal na filosofia do francês René Descartes. Da Inglaterra, Lord Chanceler Francis Bacon apresenta uma maneira diferente de tratar o problema da nova ciência. Menos filosófico e mais pragmático, Bacon propõe que se parta de uma série sistemática de experimentos para, indutivamente, chegar-se a teorias mais gerais sobre a natureza.

Assim, do início da Era Cristã até, mais ou menos, a metade do século XVII, muitos alquimistas acreditaram que metais poderiam ser convertidos em ouro com a ajuda de uma "coisa" chamada "a pedra filosofal". Esta "Pedra filosofal" nunca foi encontrada, até onde se sabe, mas muitas descobertas de novos elementos e compostos foram feitas durante este período. No início do século XIII, alquimistas como Roger Bacon, Albertus Magnus e Raymond Lully começaram a imaginar que a procura pela pedra filosofal era inútil. Eles acreditaram que os alquimistas poderiam servir o mundo de uma melhor maneira descobrindo novos produtos e métodos para melhorar a vida cotidiana.

Esse fato iniciou uma nova corrente, entre os alquimistas, na qual eles pararam de buscar pela pedra filosofal. Um importante líder neste movimento foi Theophrastus Bombastus (Paracelso). Paracelso sentiu que o objetivo da Alquimia deveria ser a cura dos doentes. Ele acreditava que sal, enxofre e mercúrio poderiam dar saúde se combinados nas proporções certas.

Este foi o primeiro período da Iatroquímica, que utilizava substâncias químicas como remédios.

O último químico influente nesta era foi Robert Boyle. Em seu livro: "O Químico Cético", Boyle rejeitou as teorias científicas vigentes e iniciou uma listagem de elementos que ainda hoje é reconhecida. Ele também formulou uma Lei relacionando o volume e pressão dos gases (A Lei de Boyle). Em 1661, ele fundou uma sociedade científica que mais tarde iria tornar-se conhecida como a Sociedade Real da Inglaterra (Royal Society of England).

A esta altura, os cientistas estavam usando "métodos modernos" de descobertas testando teorias com experimentos. Uma das grandes controvérsias durante este período foi o mistério da combustão. Dois químicos: Johann Joachim Becher e Georg Ernst Stahl propuseram a teoria do flogisto (diz-se do fluido imaginado pelos químicos do séc. XVIII para explicar a combustão). Esta teoria dizia que uma "essência" (como dureza ou a cor amarela) deveria escapar durante o processo da combustão. Ninguém conseguiu provar a teoria do flogisto. O primeiro químico que provou que o oxigênio é essencial à combustão foi Joseph Priestly. Ambos, o oxigênio e o hidrogênio foram descobertos durante este período. Foi o químico francês Antoine Laurent Lavoisier quem formulou a teoria atualmente aceita sobre a combustão. Esta era marcou um período aonde os cientistas usaram o "método moderno" de testar teorias com experimentos. Isso originou uma nova era, conhecida como Química Moderna, à qual muitos se referem como Química atômica.

Esta foi a época na qual a Química mais progrediu. As teses de Lavoisier deram aos químicos a primeira compreensão sólida sobre a

natureza das reações químicas. O trabalho de Lavoisier levou um professor inglês chamado John Dalton a formular a teoria atômica. Pela mesma época, um químico italiano chamado Avogadro formulou sua própria teoria (A Lei de Avogadro), referente a moléculas e suas relações com a temperatura e a pressão.

Pela metade do século XIX, havia aproximadamente 60 elementos conhecidos. John A. R. Newlands, Stanislao Cannizzaro e A. E. B. de Chancourtois notaram, pela primeira vez, que todos estes elementos eram similares em sua estrutura. Seu trabalho levou Mendeleev a publicar sua primeira tabela periódica. O trabalho de Mandeleev estabeleceu a base da química teórica. Em 1896, Henri Becquerel e os Curies descobriram o fenômeno chamado de radioatividade, o que estabeleceu as bases para a química nuclear. Em 1919, Ernest Rutherford descobriu que os elementos podem ser transmutados. O trabalho de Rutherford estipulou as bases para a interpretação da estrutura atômica. Pouco depois, outro químico, Bohr, finalizou a teoria atômica.

Não existe uma data específica que se possa estabelecer como o "início" da Química, apesar dela ter se consolidado como Ciência independente a partir do século XVII, quando o ser humano começou a se preocupar com os processos químicos. O aparecimento da Química Moderna iniciou-se no final do século XVIII, vinte e dois séculos após as primeiras idéias sobre estrutura da matéria, graças ao trabalho sistemático do grande químico francês Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), considerado o pai da Química moderna. O maior progresso da Química ocorreu no século XVIII, com muitas descobertas sobre a combustão, feitas principalmente por

Lavoisier. Durante todo esse século, o que mais se estudou foi a questão da afinidade que mantinha ligados os compostos químicos.

Com o tempo, foram sendo descobertos novos produtos, novas substâncias, novas aplicações, e o homem foi aprendendo a sintetizar elementos presentes na natureza, a desenvolver novas moléculas e a modificar a composição dos materiais. Assim, a importância da Química foi e vem aumentando, com o passar do tempo, até tornar-se tão presente em nosso cotidiano, que nem damos mais conta em saber o que é ou não é química.

A Química é considerada, dentre as ciências naturais, como uma das mais novas. Com alto grau de desenvolvimento científico e tecnológico, a indústria química transforma elementos presentes na natureza em produtos úteis ao homem. Substâncias são modificadas e re combinadas para gerar matérias-primas que serão empregadas na formulação de medicamentos, na geração de energia, na produção de alimentos, na purificação da água, na fabricação de bens como automóveis e computadores, na construção de moradias e na produção de uma infinidade de itens, como roupas, utensílios domésticos e artigos de higiene que estão no dia-a-dia da vida moderna.

Há muito tempo já não é possível para uma única pessoa possuir todo o conhecimento da Química. Por isso as pessoas dividem seus interesses em áreas específicas da Química para poderem se comunicar de acordo com elas. Com o passar do tempo um grupo de químicos, com interesses de pesquisas específicos, tornaram-se os fundadores de uma área de especialização. Essas áreas de especialização emergiram nos primórdios da história da Química, como por exemplo, Química Orgânica, Inorgânica, Físico-Química, Química Analítica e Industrial, além da Bioquímica. Houve,

entretanto, um crescimento muito pronunciado nas áreas de polímeros, química ambiental e medicinal durante o século XX. Além disso, muitas especialidades novas continuam a surgir, como por exemplo, pesticidas, química forense e computacional. Nas últimas décadas, diversas áreas interdisciplinares tais como a Química Bio-inorgânica, a Química de Produtos Naturais e a Química de Materiais, vêm apresentando um grande desenvolvimento.⁴

Na próxima seção irei considerar a relação da Química com a Matemática por ser esse o foco do meu trabalho.

⁴ Texto adaptado de um texto, a respeito da Química, produzido pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM, e de textos contidos nos sites www.geocities.com/yeddasantos/alquimia.html, www.fabufrj.hpg.ig.com.br/histquim.htm e www.quimicaja.hpg.ig.com.br/temas/historia_quimica.html. Além disso, foram utilizadas informações obtidas no livro *Da Alquimia a Química* de Goldfarb (2001).

2.2. Considerações sobre a relação da Química com a Matemática

A matematização ou quantificação da Química começou com os cálculos dos rendimentos dos primeiros “tecnólogos” químicos (século XVI) e com a estequiometria (1792), atingindo um clímax com a Físico-Química, uma das diversas áreas da Química que estuda os fenômenos químicos com o auxílio da Física. É comum entre os historiadores da Química considerar esta matematização como o recurso através do qual a Química se integra com as demais ciências, fato esse que tem começo justamente no século XVIII e representa uma das características daquele século.⁵

Embora a Matemática represente um papel importante na Físico-Química, os químicos em geral demoraram muito para reconhecer a utilidade de se utilizar a matemática em seus trabalhos científicos.

Podemos iniciar uma discussão a respeito da Matemática no contexto da Química, com a seguinte questão: sendo a Química uma ciência experimental, por que então deveria a Matemática representar um papel importante para sua compreensão?

A literatura existente a respeito mostra algumas opiniões bastante curiosas e divergentes quanto a essa questão.

Roger Bacon (1214-1292) dizia que:

[...] without mathematics the sciences cannot be understood, not made clear, nor taught, nor learned.⁶

⁵ *Se Física e Química são antigas, por que a Físico-Química surgiu no século XIX?* Prof. Juergen Heinrich Maar, Solução on-line, dez/98, n. 28, ano 5.

⁶

Michael Faraday⁷ (1839) fez notáveis contribuições para a eletricidade e magnetismo sem o uso de qualquer matemática. Ele conseguiu elaborar conceitos e princípios com uma rigorosa exatidão científica apesar de não possuir formação matemática. Posteriormente, tais conceitos e princípios foram expressos em linguagem matemática por James Clerk Maxwell⁸.

Nessa época podia-se perceber que havia, entre muitos químicos e até mesmo entre alguns físicos, uma decisão consciente em excluir a matemática da ciência, como se pode ver através das opiniões descritas a seguir.

Charles Giles Bridle Daubeny (1795-1867), professor de Química de Oxford em 1848, fez a seguinte afirmação:

It would manifestly be quite foreign to the purpose, and fatal to the genius, of a School of Physical Science, to encourage the introduction of any subjects that are treated mathematically.⁹

Daubeny achava que a Matemática deveria ser deixada aos matemáticos, enquanto os cientistas deveriam caminhar com suas experiências concentrando-se nos aspectos descritivos dos fenômenos.

Em 1850, Ludwig Wilhelmy (1812-1864), estudando a hidrólise da cana de açúcar, mostrou que se z representa a concentração de açúcar, o açúcar perdido (dz) no intervalo de tempo dT é dado pela expressão

⁷ *Experimental Researches in electricity* (1839)

⁸ *A treatise on electricity and magnetism* (1891)

⁹ LAIDLER, Keith J. *The world of Physical Chemistry*. 1995.

$-\frac{dz}{dT} = kz$. Esta equação, para uma reação mono-molecular, foi a primeira expressão matemática para um processo químico¹⁰.

Apesar de ser um grande conhecedor da Matemática, Josiah Willard Gibbs (1839-1903), professor de Física-Matemática da Yale University afirmou o seguinte:

“Se eu obtive qualquer sucesso com a Física-Matemática foi porque aprendi a evitar dificuldades matemáticas”.

Alguns dos primeiros livros de Físico-Química procuraram evitar a Matemática; um exemplo extremo é o livro de Ostwald (1889) intitulado *Grundriss der allgemeinen Chemie*, que não contém uma única equação matemática. Ao escrever este livro, Ostwald estava ciente das deficiências matemáticas de muitos de seus leitores. Contudo, em suas pesquisas e em seu livro intitulado *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* (1885-87), é possível perceber que ele utilizou muita matemática.

Embora apresentações mais matemáticas da Físico-Química sejam leituras fáceis para físico-químicos hoje em dia, elas estavam muito além de muitos químicos da época. Nesse sentido, livros como o *Lehrbuch der allgemeinen Chemie* de Ostwald foram importantes para que os químicos fizessem uma maior apreciação do valor da matemática.

As opiniões a respeito da relação entre a Matemática e a Química têm se modificado constantemente. A visão de Auguste Comte (1798-1857) in *Philosophie Positive* (1830), por exemplo, era a seguinte:

¹⁰ LEICESTER, Henry M. *The Historical Background of Chemistry*. Dover Publications, Inc., New York, 1956.

“Every attempt to employ mathematical methods in the study of chemical questions must be considered profoundly irrational and contrary to the spirit of chemistry. If mathematical analysis should ever hold a prominent place in chemistry – an aberration which is happily impossible – it would occasion a rapid and widespread degeneration of that science.”

Em contraste, Gay-Lussac (1778-1850) acreditava que:

“Talvez não estejamos longe do tempo em que poderemos ser capazes de submeter à totalidade dos fenômenos químicos ao cálculo (...)”.

Coulson (1973), quando revisou as reações dos envolvidos no desenvolvimento das idéias químicas dos séculos passados, observou que em 1878 Frankland escreveu:

“Estou convencido que o progresso da Química como uma ciência exata depende muito da sua aliança com a Matemática”¹¹.

Esta visão não foi compartilhada por muitos químicos da época. Foi a partir do desenvolvimento da teoria quântica no ano de 1920, e o conseqüente impacto sobre a compreensão da espectroscopia e da estrutura eletrônica, que os químicos começaram a utilizar as ferramentas matemáticas relevantes às necessidades da Química.

A origem da teoria quântica está relacionada com o fenômeno de radiação térmica emitida por um corpo a altas temperaturas. Tal fenômeno ocorre quando um pedaço de matéria qualquer é aquecido tornando-se incandescente, primeiramente avermelhado e depois esbranquiçado a temperaturas mais elevadas, sendo que sua coloração não depende muito de sua superfície. A formulação matematicamente precisa da teoria quântica ocorreu no verão de 1925, onde as equações de movimento da mecânica clássica foram substituídas por equações formalmente semelhantes entre

matrizes, dando lugar ao formalismo matemático denominado *mecânica das matrizes* ou *mecânica quântica*.

Posteriormente, Born, Jordan e Dirac mostraram que as matrizes que representavam a posição e o movimento do elétron não comutam, revelando assim a diferença fundamental entre as mecânicas quântica e clássica. No início de 1926, uma formulação matematicamente equivalente ao formalismo da mecânica das matrizes foi estabelecida por Schrödinger, através de uma equação para as ondas estacionárias que circundam o núcleo atômico, denominada de *mecânica ondulatória*. Foi a partir dessas formulações matemáticas equivalentes, que se obtiveram corretamente os valores dos níveis de energia do átomo de hidrogênio e, posteriormente, do átomo de hélio e nos casos mais complicados de átomos mais pesados¹².

Até bem depois da Primeira Guerra Mundial, vários cientistas da época foram freqüentemente surpreendidos por sua deficiência em relação ao conhecimento da Matemática. Em Harvard, por exemplo, até aproximadamente 1930, era possível obter um grau Ph. D. em Físico-Química sem qualquer conhecimento do Cálculo Diferencial e Integral. Foi o caso de Farrington Daniels, que em 1914 obteve o título de Ph. D. e mais tarde teve que aprender o Cálculo antes que pudesse fazer importantes contribuições para a Cinética Química. Irving Langmuir, que recebeu um Prêmio Nobel por seu trabalho em físico-química de superfícies, teve que se retirar de um curso em Leipzig porque seu conhecimento matemático era inadequado; mais tarde ele teve que abandonar parte da pesquisa sobre Nernst pela mesma razão.¹³

¹¹ in Am. J. Math.; 1, 349, 1878.

¹² HEISENBERGER, Werner *A Física e a Filosofia*. Ed. Universidade de Brasília, 4ª ed., 1999.

¹³ LAIDLER, Keith J. *The world of Physical Chemistry*. 10-11, 1995.

Em 1985, o prêmio Nobel para a Química, foi obtido por dois matemáticos (H. H. Hauptman e J. Karle) por seus métodos de desenvolvimento, baseados na análise de Fourier e probabilidade, para determinar estruturas do cristal.

O Dr. Warren S. Warren (1994), professor de Química da Universidade de Princeton, Califórnia, afirma que

(...) muitos aspectos importantes da química podem apenas ser memorizados, não entendidos, sem uma simpatia pela Matemática. Por exemplo, a mecânica quântica permite-nos prever a estrutura dos átomos e moléculas de uma maneira bastante condizente com as evidências experimentais, mas sua lógica intrínseca não pode ser entendida sem as equações.

Ou seja, a Mecânica Quântica explica muito bem os resultados experimentais, mas essa explicação só pode ser entendida através de equações.

Doggett & Sutcliffe (1995) afirmam que o estudo da Química, envolvido com as sínteses e reações de um sempre crescente número de combinações, está relacionado basicamente com a descoberta de modelos em que as propriedades químicas de tais combinações estão interrelacionadas.

Chassot (1995), afirma que uma preocupação que deve permear todo o estudo de Química é a de que as fórmulas e as leis são elaboradas a partir de modelos (como por exemplo, a descrição de um gás ideal) que procuram fazer aproximações da realidade. Em um nível mais simples, por exemplo, para ver como a classificação periódica é manifestada no conceito de mecânica quântica do modelo orbital, é necessário insight matemático. Dessa forma, é a Matemática que fornece as ferramentas

necessárias para que se possam construir modelos quantitativos que são necessários para a predição, elucidação e racionalização do fenômeno químico.

Além disso, ele afirma que:

“... sem a urdidura subjacente da matemática, e a trama da Física e Biologia, a Química seria reduzida a um vasto catálogo de fatos e observações aparentemente sem conexão!”.

Por causa desta forte inter-relação entre a Matemática e a Química (e Física) é que somos capazes de entender a estrutura molecular de biomoléculas, tais como a insulina, através da interpretação dos resultados obtidos por difração de raios X. Para compreender o comportamento químico de átomos e moléculas é necessário compreender a estrutura das moléculas.

O Dr Graham Doggett (1997), pesquisador em Química teórica e inorgânica no departamento de Química da Universidade de York, considera que como muito da Química se reduz a algumas fórmulas, o desenvolvimento das habilidades matemáticas provê os estudantes de química com: *a) uma habilidade de transferência muito importante; b) um formalismo para unificar fatos isolados; c) modelos quantitativos de previsão.*

Existem outros ramos da Química, menos relacionados com a determinação de estruturas moleculares e mais com a coleta de dados por observação de espécies químicas reagindo, onde o tempo é a variável chave, nos quais os resultados podem apenas ser interpretados e entendidos com a ajuda de um conhecimento da forma e solução de tipos especiais de equação diferencial. O objetivo químico aqui é interpretar os resultados observados em termos de um mecanismo para a reação⁷ e, para isto, é necessário colocar num

⁷ Do ponto de vista prático, o mecanismo de uma reação está relacionado com a descrição das etapas pelas quais os reagentes passam a produto, reconhecer a etapa mais lenta do processo - que é a que

gráfico os dados na forma sugerida pela teoria para reconhecer a função que relaciona a concentração de espécies e o tempo.

A existência de erros presentes nos dados coletados acarreta problemas associados com a manipulação desses erros, quando se tenta estabelecer uma relação quantitativa entre a concentração e o tempo. O próprio tratamento dos problemas experimentados neste tipo de situação envolve a compreensão das idéias de propagação de erro e Estatística – que envolvem usar as ferramentas do Cálculo Diferencial e Integral. É importante observar aqui que toda ciência experimental busca, de uma forma ou de outra, estimar e avaliar as conseqüências da propagação do erro.

De acordo com Warren S. Warren (1994) a Estatística representa um papel central na química, porque essencialmente nunca vemos uma molécula se decompor, ou duas moléculas colidirem. Na combustão de 1 g de gás hidrogênio para formar a água, 6×10^{23} átomos de hidrogênio sofrem uma mudança fundamental em sua energia e estrutura eletrônica, sendo que as propriedades da mistura reativa podem apenas ser entendidas em termos de médias.

Através das opiniões apresentadas anteriormente, parece claro a existência de uma correlação entre a Matemática e a Química. Este fato foi ressaltado, de maneira mais positiva, nas opiniões dos cientistas das últimas décadas que evidenciam a importância da Matemática para a Química sob vários aspectos. Alguns assumem a posição de que a importância da Matemática está relacionada com a interpretação dos resultados observados

determina a velocidade global do processo, conhecer as etapas intermediárias (possibilidade de interferir na reação, se necessário)

em uma experiência, outros que a matemática é importante para a compreensão de conceitos físicos e/ou químicos e outros ainda relacionam a importância da matemática com a construção e/ou compreensão de modelos quantitativos necessários para prever, explicar e racionalizar um fenômeno químico. Mas todos são unânimes em afirmar que a Química tem a Matemática como uma importante aliada no processo de construção e na compreensão e interpretação de alguns fenômenos químicos.

Por outro lado, pode ser visto que nomes importantes da Ciência e da Filosofia, até bem pouco tempo atrás, defendiam que a Matemática não era útil para a Química ou poderia ser prejudicial a ela.

Como a proposta desse estudo é buscar uma compreensão sobre a Matemática na formação do químico contemporâneo, nesta seção, procurei conhecer um pouco sobre a Química, ter uma idéia mais clara sobre como e quando se estabeleceu a relação entre a Química e a Matemática e de que maneira ela se apresenta nos dias de hoje.

Na próxima seção, considerando ainda o objeto de estudo deste trabalho, procuro discutir o problema das reformas curriculares, atentando para o fato de que não se têm levado em consideração pesquisas como a proposta nesse estudo, na alteração da estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação.

2.3. A Necessidade de uma Reforma Curricular no Ensino Superior

O objetivo aqui é proporcionar uma reflexão sobre algumas questões relativas à necessidade de se repensar a estrutura curricular para o ensino superior, tendo em vista as crescentes mudanças observadas na sociedade, na economia e na cultura contemporânea. Tomarei como base a necessidade de mudança na concepção da estrutura de disciplinas do ensino superior, apoiada no relatório produzido pelo Congresso de Locarno¹⁴.

O processo de mudanças sociais, econômicas e culturais, que vem acontecendo em um ritmo bastante acelerado, juntamente com o surgimento de novas tecnologias, tem se refletido nas discussões e trabalhos publicados acerca da estrutura curricular do ensino superior. Pode-se observar que existe um relativo consenso sobre a necessidade de reestruturação curricular nas universidades brasileiras.

LINDO (1996) defende em seu artigo que o ensino superior deverá assimilar as transformações que a humanidade está vivendo atualmente, se quiser evitar uma dissociação entre ele e a sociedade.

Para esse autor, as mudanças do ensino superior estão relacionadas a mudanças nos seguintes aspectos: *contextos socioeconômicos, evolução das ciências e das tecnologias, políticas universitárias, práticas pedagógicas e estruturas acadêmicas, valores e qualidade de vida que definem os atores envolvidos*. Diante da variedade de níveis diferentes de mudanças observadas no mundo atual, Lindo questiona como transmitir e produzir conhecimentos apropriados em uma época de transformações e incertezas, e de que maneira constituir e manter uma estrutura curricular que dê

¹⁴ CONGRESSO DE LOCARNO. *Que Universidade para o Amanhã?* Em Busca de uma Evolução Transdisciplinar da Universidade, Suíça: Centro Internacional de Pesquisas e Estudos Transdisciplinares - CIRET e UNESCO, 30 abril a 02 de maio de 1997. Disponível na Internet: <http://www.cetrans.futuro.usp.br/locarnoport.html>

sustentação a esses conhecimentos produzidos, em conformidade com a época contemporânea.

Para ele, *"toda reforma curricular terá que conter núcleos básicos variáveis que permitam a iniciação ao pensamento complexo, que fortaleçam a formação científica, que afirmem os valores democráticos e pluralistas, que fortaleçam a capacidade para sintetizar informações e para pensar autonomamente"*. Nesse sentido, observa-se uma alteração na forma de transmitir e produzir os conhecimentos, sendo necessária uma sólida *"revisão dos modelos epistemológicos vigentes, assim como dos conteúdos das matérias e dos processos de ensino e aprendizagem"*.

As grandes mudanças ocorridas nos últimos anos, através da difusão das tecnologias da informática e comunicação, têm permitido que organizações e escolas tenham acesso a inúmeras tecnologias, as quais têm oferecido novas e poderosas ferramentas, proporcionando assim uma oportunidade de modificar e reestruturar o ensino, favorecendo a compreensão e a discussão de assuntos relacionados ao ensino de Matemática. Nesse sentido, educadores têm ressaltado a utilização de recursos tecnológicos, tais como calculadoras e softwares de manipulação algébrica e simbólica.

Buscando maneiras diferentes de apreender o conhecimento, como por exemplo, o visual (Borba, 1999), alguns pesquisadores têm deixado de lado os cálculos fastidiosos e utilizado as novas ferramentas tecnológicas, na exploração da visualização e até mesmo na descoberta matemática pelos estudantes. Com isso, a introdução das novas tecnologias na sala de aula tem levantado questões relativas a mudanças curriculares, novas metodologias em

sala de aula, bem como reflexões sobre o papel do professor, entre outras (Borba, 1999).

Com relação ao papel que as calculadoras e os computadores representam para a reforma curricular, o relatório Cockcroft (1982) já dizia que *"Existem duas questões fundamentais a serem discutidas. A primeira consiste na forma como a calculadora e computadores podem ser utilizados para melhorar o ensino. A segunda questiona a importância das calculadoras e o seu valor no ensino e pensar até que ponto é que deveríamos alterar os conteúdos do programa ou a ênfase posta em certos capítulos em função de novas potencialidades tecnológicas.."* (parágrafo 374).

Esses pontos de vista foram revistos num relatório do Scottish HMI sobre *Ensino e aprendizagem eficaz em Matemática* (SOID, 1993, parágrafo 4.30). Passados vinte anos após a publicação do relatório Cockcroft, parece quase não existir dúvidas que as duas questões ainda continuam válidas e, com o desenvolvimento das calculadoras e dos computadores, a necessidade de uma **reforma curricular** é maior do que nunca.

A informática tem afetado profundamente todas as ciências. O uso dos computadores tem permitido que novos assuntos de interesse sejam criados (como por exemplo, a geometria fractal) e que outros velhos sejam reconsiderados (como por exemplo resolução de sistemas de equações diferenciais).

Os computadores podem livrar os usuários de muitos trabalhos mecânicos relacionados à aprendizagem da matemática (memorização, execução de algoritmos), mas eles exigem imaginação,

criatividade, faculdades críticas (concepção de algoritmos, estabilidade, sensibilidade a condições iniciais, detecção de erros, controle e exploração de resultados). Como um exemplo, os softwares que permitem fazer cálculos estatísticos são bastante utilizados hoje em dia e a sua utilização implica numa compreensão dos métodos estatísticos e um certo conhecimento matemático para que eles possam ser usados em toda sua potencialidade e de maneira correta.

É nesse contexto de profundas transformações, que vem ocorrendo na sociedade contemporânea, e de seu reflexo nas estruturas estabelecidas da aprendizagem, que surge a necessidade de uma proposta de construção de uma nova organização curricular do ensino superior e, principalmente, uma nova forma de ver e lidar com as questões da aprendizagem.

Ao observarmos, com maior atenção, o currículo do ensino superior de uma maneira geral, podemos notar uma acentuada rigidez nas grades curriculares dos cursos de graduação. Essa rigidez traz consigo problemas relacionados com cargas horárias excessivas e, não raro, fragmentação de conteúdos cujo vínculo é buscado através de uma seqüência rígida de pré-requisitos.

A Universidade é um dos lugares onde a fragmentação acontece com maior intensidade. A cada dia, surgem novas disciplinas que irão compor novas especialidades e, por conseguinte, irão produzir profissionais cada vez mais afastados da visão de totalidade. Além disso, o que se tem observado é a existência de uma carga horária excessiva, pouca flexibilidade nas escolhas das disciplinas pelos alunos e uma concentração muito acentuada

no campo específico do conhecimento. Não se pode esquecer que a superespecialização torna inviável o diálogo saudável entre as diversas disciplinas e os vários campos da vida social.

A partir da falta de comunicação entre as disciplinas de um curso superior, observa-se que a proposta do projeto elaborado pelo CIRET em colaboração com a UNESCO, produzido no CONGRESSO DE LOCARNO (1997), está amparada fortemente na crítica ao antigo modelo estanque e compartimentalizado de estruturação de disciplinas. O modelo compartimentalizado, em que se baseiam os cursos, está um tanto quanto ultrapassado, numa época que exige a aproximação, a coexistência e a troca constante de informações como forma de reforçar novas experiências no processo de formação profissional.

De acordo com o documento de Locarno, a necessidade de se estabelecer relações entre as diferentes disciplinas, é manifestada pelo aparecimento, na segunda metade do século XX, da pluridisciplinaridade e da interdisciplinaridade.

A pluridisciplinaridade surgiu como uma maneira de buscar a relação entre os conhecimentos das várias disciplinas criadas pela ciência moderna; teve como propósito estudar um conteúdo específico, de uma única disciplina, por meio de outras disciplinas ao mesmo tempo. Por exemplo, um quadro de Giotto pode ser estudado sob o ponto de vista da arte junto com o da Física, da Química, da história das religiões, da história da Europa e da Geometria, enriquecendo bastante o objeto em questão. Porém, o

enriquecimento do conteúdo estudado ficava a serviço apenas dessa disciplina, mas não resultava na relação mencionada anteriormente.

De acordo com Nicolescu¹⁵ (1997), a interdisciplinaridade, outra forma de linguagem encontrada para buscar a relação entre os conhecimentos disciplinares, tem como propósito transferir métodos de uma disciplina para outra. Podem-se distinguir três níveis de interdisciplinaridade: a) um nível de **aplicação**, como por exemplo, métodos da física nuclear transferidos à medicina acarretam o aparecimento de novos tratamentos de câncer; b) um nível **epistemológico**, como por exemplo, métodos da lógica formal transferidos para o campo do direito, provoca análises interessantes na epistemologia do direito; c) um nível de **geração de novas disciplinas**, como por exemplo, a transferência dos métodos da matemática para o campo da física, fez aparecer a física-matemática. Assim como a pluridisciplinaridade, a interdisciplinaridade vai além das disciplinas, supera a visão disciplinar, mas sua finalidade também permanece a serviço apenas dessa disciplina.

Dessa forma, a transdisciplinaridade vem sendo apontada como uma possibilidade para superar o problema da fragmentação excessiva e para dar conta da complexidade da era atual. "Por transdisciplinaridade propomos que se entenda o nível máximo de integração disciplinar que seria possível alcançar num sistema de ensino. Tratar-se-ia então da unificação de

¹⁵ Congresso Internacional - QUE UNIVERSIDADE PARA O AMANHÃ? EM BUSCA DE UMA EVOLUÇÃO TRANSDISCIPLINAR DA UNIVERSIDADE - Congresso de Locarno, de 30 de abril a 02 de maio de 1997: síntese do documento disponível na internet <http://perso.club-internet.fr/nicol/ciret/locarno/locapor4.htm>. PROJETO CI RET-UNESCO - Evolução transdisciplinar da Universidade - **Basarab NICOLESCU** - Presidente do CI RET (Centro Internacional de Pesquisas e Estudos Transdisciplinares)

duas ou mais disciplinas tendo por base a explicitação dos seus fundamentos comuns, a construção de uma linguagem comum, a identificação de estruturas e mecanismos comuns de compreensão do real, a formulação de uma visão unitária e sistemática de um setor mais ou menos alargado do saber" (POMBO, 1993, p. 13).

A Disciplinaridade explora um objeto, a Pluridisciplinaridade (ou Multidisciplinaridade) enriquece o objeto em estudo ao formar equipes pluridisciplinares para o explorar; a Interdisciplinaridade, além de enriquecer a exploração do objeto, desvenda e encontra soluções, e propicia o surgimento de novas aplicabilidades, disciplinas ou caminhos.

É necessário deixar bem claro que o fato de eu estar aqui tratando de pluridisciplinaridade, de interdisciplinaridade e de transdisciplinaridade, tem o objetivo apenas de esclarecer o leitor e eu mesma, quanto a esses conceitos. O objetivo dessa seção foi problematizar a necessidade de reforma curricular no ensino superior, face às grandes mudanças que vêm ocorrendo no mundo contemporâneo. Contudo, quando se fala em reforma curricular, toda a literatura estudada a respeito apresenta discussões acerca dos conceitos de pluridisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, apontando a transdisciplinaridade como uma possibilidade para superar o problema da fragmentação excessiva dos currículos atuais e para dar conta da complexidade do mundo contemporâneo.

Assim, é nesse contexto que surge a necessidade quase que imediata de se reverem os currículos dos cursos superiores. A escolha dos assuntos a serem ensinados torna-se necessária e novos métodos de ensino têm que ser introduzidos. Quando se trata de disciplinas em serviço, como é o

caso da Matemática neste estudo, tal escolha depende das aspirações da carreira e da opção das disciplinas principais do currículo, caracterizando a Matemática algumas vezes como indispensável e outras como útil, mas de importância secundária.

Podemos citar dois critérios que freqüentemente são utilizados para a escolha dos assuntos a serem ensinados, critérios esses que não levam em consideração pesquisas como a proposta nesse estudo na alteração da estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação. O primeiro é escolher assuntos que se imagina serem mais úteis para a vida profissional dos estudantes; e o segundo é ensinar assuntos que teoricamente poderão ser utilizados pelos alunos na aprendizagem das demais disciplinas que fazem parte do currículo do curso em questão.

A demanda por assuntos que serão utilizados pelas demais disciplinas traz consigo alguns cuidados que devem ser tomados em relação à escolha dos tópicos a serem ensinados, à ordem, ao momento de apresentação desses tópicos, e à maneira que se deve introduzir e ilustrar os conceitos matemáticos. Por exemplo, algumas das disciplinas da Física ou da Química geralmente utilizam a derivada e a integral antes mesmo que os matemáticos pudessem ter introduzido tais conceitos.

Assim, muito mais do que tentar satisfazer os critérios de escolha dos assuntos a serem ensinados, principalmente em disciplinas em serviço, acredito que os matemáticos devam procurar trabalhar em cooperação com seus colegas, das demais disciplinas que fazem parte do currículo, com o intuito de saber o que, quando e como ensinar matemática para não-matemáticos.

2.4. As Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química do Brasil

Na seção anterior, ficou clara a necessidade de se repensar o currículo do Ensino Superior, de uma maneira geral. As Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química no Brasil, elaboradas por uma Comissão de Especialistas de Ensino de Química, designada pelo Secretário de Ensino Superior do Ministério da Educação, através da Portaria 146 de 10 de março de 1998, surgem como uma resposta para essa necessidade. Para a elaboração destas, foi levado em conta orientações do Conselho Nacional de Educação (CNE), considerando os princípios estabelecidos pela Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da Educação Nacional, conhecida como LDB.

Essas diretrizes foram aprovadas em 06/11/2001, pelo CNE e homologadas em 11 de março de 2002 (Resolução CNE/CES 8/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de março de 2002. Seção 1, p. 12). Tais diretrizes servirão como referência para as Instituições de Ensino de Química do país, na elaboração de seus programas de formação.

De acordo com as Diretrizes, os químicos são profissionais que sabem como produzir e separar substâncias da natureza, utilizar métodos físicos e químicos para entender a composição e propriedades das substâncias, caracterizando-se assim como experimentalistas. Além disso, os químicos desenvolvem teorias ou utilizam-se de teorias propostas nas ciências naturais para procurar entender as leis que regem as reações químicas caracterizando-se, nesse caso, como químicos teóricos. Alguns químicos são essencialmente experimentalistas, outros essencialmente teóricos e outros ainda

desenvolvem-se profissionalmente associando a teoria e a experiência em algum ramo específico da Química.

A profissão de Químico compreende diversas funções relacionadas com a produção e análise de substâncias ou materiais. O Químico desenvolve e aperfeiçoa processos de produção e de análise, realiza análises para descobrir a composição, a estrutura e a reatividade de substâncias diante de outros agentes químicos ou de agentes físicos como luz e calor.

Os cursos de Química das IES têm se destinado à formação de profissionais para atuar no ensino fundamental, médio e superior, na indústria química e áreas correlatas e na pesquisa. Assim, os cursos de nível superior, respeitada a autonomia curricular e as normas legais vigentes, têm formado profissionais em Química em suas várias habilitações, inclusive licenciados.

Em relação ao perfil do profissional químico contemporâneo, existem algumas habilidades pessoais e profissionais consideradas como indispensáveis para que ele possa exercer suas atribuições profissionais com competência numa época caracterizada por rápidos avanços científicos e tecnológicos. Nesse contexto, as diretrizes curriculares para os cursos de Química apresentam uma relação de competências e habilidades, que devem ser adquiridas, com o intuito de garantir o desenvolvimento do perfil profissional deliberado. Assim, de acordo com as diretrizes, é importante que o profissional químico manifeste, na sua prática como profissional e cidadão, as seguintes habilidades:

- Possuir uma formação multidisciplinar e conhecimento sólido de Química, com o domínio de técnicas básicas de utilização de laboratórios e equipamentos necessários para garantir a qualidade dos serviços prestados, desenvolvendo e aplicando novas tecnologias de maneira a ajustar-se à dinâmica do mercado de trabalho.
- Possuir habilidade suficiente em Matemática para compreender conceitos de Química e de Física, para compreender modelos probabilísticos teóricos, no sentido de organizar, descrever, arranjar e interpretar resultados experimentais, inclusive com auxílio de métodos computacionais.
- Possuir capacidade crítica para analisar os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, sócio-econômico e político.
- Ter formação humanística que permita exercer de maneira plena sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos que direta ou indiretamente são alvo do resultado de suas atividades.
- Saber trabalhar em equipe (inter e multidisciplinar).
- Ter interesse no auto-aperfeiçoamento contínuo, curiosidade e capacidade para estudos extra-curriculares individuais ou em grupo, espírito investigativo, criatividade e iniciativa na busca de soluções para questões individuais e coletivas relacionadas com a Química.
- Ler, compreender e interpretar os textos científico-tecnológicos e saber comunicar corretamente os projetos e resultados de pesquisa na linguagem científica, oral e escrita em idioma pátrio e estrangeiro (especialmente inglês e/ou espanhol).
- Saber interpretar e utilizar as diferentes formas de representação (tabelas, gráficos, símbolos, expressões, etc.).
- Ser capaz de atender às exigências do mundo do trabalho, com visão ética e humanística, tendo capacidade de vislumbrar possibilidades de ampliação do mesmo, visando atender às necessidades atuais.

A sociedade atual espera então que aspectos tais como: *conhecimento para exercer a profissão em diferentes ramos, que permita atuação interdisciplinar e capacidade de analisar situações, identificar problemas, planejar ações bem como elaborar e defender propostas de solução* devam moldar o perfil do químico contemporâneo no exercício da profissão. Além dessas, são apontadas outras características que o químico deve desenvolver ao longo do curso de graduação: *capacidade de buscar informações e processá-las (no contexto da formação continuada); visão crítica da ciência e postura ética no exercício da profissão (no contexto social); iniciativa, criatividade e caráter empreendedor; capacidade de*

expressão em língua nacional e capacidade de compreensão de línguas estrangeiras.

De acordo com as diretrizes, todo curso de Química precisa redefinir e divulgar seu projeto pedagógico aonde deve estar definido, de um modo claro, como o conjunto de atividades desenvolvidas irá garantir o perfil e o desenvolvimento das competências e habilidades desejadas para o profissional químico contemporâneo.

A duração mínima de um curso de Química - em qualquer de suas habilitações - deverá ser de 2.400 horas-atividade, dentre as quais, 1200 horas-atividade devem corresponder aos **conteúdos básicos**. Os conteúdos teóricos e experimentais de Química devem corresponder, respectivamente, a, no mínimo, 540 e 420 horas-atividade. Os **conteúdos básicos** são os conteúdos essenciais, envolvendo teoria e laboratório. Dos conteúdos básicos deverão fazer parte a Matemática, a Física e a Química. As diretrizes recomendam ainda que a carga horária dedicada aos conteúdos básicos (teóricos e experimentais) de Matemática e Física não seja inferior a 240 horas-atividade.

Aos cursos noturnos ou àqueles que desenvolvem atividades em apenas um período diário, recomenda-se o estabelecimento de um número maior de anos ou semestres. Em qualquer das opções, o tempo máximo fixado para a integralização do curso não deverá ultrapassar 50% do tempo mínimo estabelecido para o curso.

Os **conteúdos profissionais, complementares e atividades extra-classe** corresponderão a 50% da carga horária total do curso. Entende-

se por **conteúdos complementares**, aqueles conteúdos essenciais para a formação humanística, interdisciplinar e gerencial do profissional, tais como: filosofia, história, administração, informática, instrumental de língua portuguesa e línguas estrangeiras, dentre outros. A elaboração de monografia de conclusão do curso deverá estar inserida também nesses conteúdos.

As **atividades extraclasse** são as atividades acadêmicas e de prática profissional alternativas, tais como: realização de estágios não curriculares, monitorias, programas de extensão, participação e apresentação em congressos, publicação de artigos, e outros, às quais deverão ser atribuídos créditos.

Ao propor a carga horária mínima de 2400 horas, para a duração dos cursos de Química, as diretrizes materializam uma tendência atual de redução da carga horária dos cursos de graduação. Existe um entendimento de que o curso de graduação representa apenas uma das etapas na formação do químico contemporâneo, formação esta que deve ser buscada constantemente, através do auto-aperfeiçoamento contínuo.

Há ainda uma tendência para que se reduza o tempo do aluno em sala de aula, com a argumentação de que o estudante deve ter tempo e ser estimulado a buscar o conhecimento por si só.

A principal deficiência, relacionada às diretrizes curriculares, segundo a minha ótica, refere-se à descrição detalhada dos conteúdos, particularmente dos conteúdos matemáticos, e da justificativa da importância destes em relação aos objetivos definidos na formação de diplomados (edital nº 4/97 - MEC/SESu, 1997). Ainda que as diretrizes

argumentem que o detalhamento dos conteúdos, referente aos conteúdos básicos essenciais, deve servir apenas como orientação, considerando-se a autonomia da instituição e o perfil desejado para o profissional a ser formado, da maneira como foi apresentado pode estimular a permanência da atual estrutura compartimentalizada da maioria dos cursos de Química.

As diretrizes apresentam ainda algumas orientações quanto à organização do curso: necessidade de se instituir uma formação mais geral do estudante, com a inclusão, nos currículos institucionais de temas que propiciem a reflexão sobre caráter, ética, solidariedade, responsabilidade e cidadania; abertura e flexibilização das atuais grades curriculares, com alteração no sistema de pré-requisitos, redução do número de disciplinas obrigatórias e ampliação do leque de possibilidades, a partir do projeto pedagógico da instituição, que deverá, necessariamente, assentar-se sobre conceitos de "matéria" e "interdisciplinaridade"; flexibilizar os currículos às especificidades institucionais e regionais possibilitando que cada estudante possa fazer escolhas para melhor aproveitar suas habilidades, sanar deficiências e realizar desejos pessoais.

Além disso, as diretrizes apresentam argumentos a respeito de que não se pode mais aceitar o ensino seccionado, departamentalizado, no qual disciplinas e professores se desconhecem entre si. As atividades curriculares dependerão da ação participativa, consciente e em constante avaliação de todo o corpo docente. A qualificação científica tornar-se-á inoperante se não for acompanhada da atualização didático-pedagógica, sobretudo no que se refere ao melhor aproveitamento do rico instrumental que a informática e a tecnologia renovam incessantemente.

O estudo que se constitui como objeto desse trabalho, tem como proposta buscar uma compreensão sobre a Matemática na formação do químico contemporâneo. Levando isso em conta, nesse capítulo, procurei conhecer um pouco sobre a Química, ter uma idéia mais clara sobre como e quando se deu a relação entre a Química e a Matemática e como ela se apresenta nos dias de hoje e saber qual é o perfil desejado, pela sociedade atual, para o profissional químico contemporâneo.

Pude perceber que a existência de uma ligação entre a Matemática e a Química foi destacada, de maneira mais positiva, nas opiniões dos cientistas das últimas décadas, que evidenciam a importância da Matemática para a Química sob vários aspectos. Alguns assumem a posição de que a importância da Matemática está relacionada com a interpretação dos resultados observados em uma experiência, outros que a matemática é importante para a compreensão de conceitos físicos e/ou químicos e outros ainda relacionam a importância da matemática com a construção e/ou compreensão de modelos quantitativos necessários para prever, explicar e racionalizar um fenômeno químico.

Além disso, um dos objetivos desse estudo é adquirir subsídios para uma possível reestruturação curricular das disciplinas da Matemática no curso de Química em nível superior. Assim, procurei discutir um pouco o problema das reformas curriculares e da organização curricular dos cursos de Química no Brasil, atentando para o fato de que não se tem levado em consideração pesquisas como a proposta nesse estudo, na alteração da estrutura e organização dos currículos dos cursos de graduação.

No próximo capítulo, continuando ainda a discussão acerca da organização curricular, agora mais especificamente, irei tratar da organização dos currículos de Matemática, nos cursos de Química. Além disso, antes de ir diretamente ao ponto, procuro discutir um pouco também, sobre quais as idéias que estão por trás da noção de currículo.

Capítulo 3

Organização do Currículo de Matemática nos Cursos de Química

No capítulo 2 vimos que, de acordo com as diretrizes curriculares para os Cursos de Química, um estudo relacionado com a estruturação de uma proposta curricular, de uma determinada disciplina em um curso de formação profissional, deve levar em conta as especificidades do curso com relação à formação profissional, bem como as características da disciplina no contexto desse curso. Nesse sentido, Franchi (2002) considera importante *observar as características das estruturas curriculares adequadas àquele tipo de curso; observar as habilidades/competências desejáveis ao profissional; verificar como o trabalho realizado no âmbito da disciplina pode contribuir para o desenvolvimento destas habilidades/competências e escolher uma concepção de currículo que fundamente essa proposta.*

Uma pergunta que sempre antecede a pergunta "o quê ensinar?" é "qual o tipo de ser humano desejável para um determinado tipo de sociedade?" acreditando que um currículo procura justamente transformar as pessoas que irão segui-lo. Tendo já caracterizado o perfil do químico contemporâneo, no que se refere às competências e habilidades, que o mesmo deve desenvolver durante sua formação profissional, vejo como necessário

discutir, agora, um pouco sobre quais as idéias que estão por trás da noção de currículo.

Definir o que se entende por currículo, nos dias de hoje, está cada vez mais difícil. Isto se deve tanto à abrangência de significados e compreensões relacionados à palavra currículo quanto aos caminhos diferentes pelos quais os estudos curriculares podem se desenvolver. Encontramos, na literatura existente a respeito, inúmeras definições e sentidos atribuídos à palavra currículo, reflexo talvez das preocupações da sociedade atual para com o processo educativo escolar.

O significado de senso comum atribuído à palavra currículo é a “organização daquilo que deve ser ensinado ou aprendido nas escolas”. Esta é uma visão tão antiga como a própria instituição escolar. Não raro o *currículo* é confundido com *grade curricular* – entendido aqui como o conjunto de disciplinas de um curso com seus pré-requisitos, conteúdos, períodos em que elas são ministradas, cargas horárias, créditos, professor responsável, semestralidades, etc.

Outros significados são atribuídos à palavra currículo. Nas novas Diretrizes Curriculares para os Cursos de Química, por exemplo, a antiga idéia de currículo, entendido como grade curricular que constitui a estrutura de um curso de graduação, é substituído por uma idéia bem mais ampla, que se pode traduzir pelo *conjunto de experiências de aprendizado que o aluno incorpora durante o seu processo de formação profissional*.

Nesse sentido, a idéia de *currículo* vai muito além do trabalho em sala de aula, de maneira que outras atividades complementares,

desenvolvidas pelos alunos durante a graduação, devam ser consideradas ao longo do seu curso. Atividades como *iniciação científica e tecnológica, programas de extensão universitária e de treinamento especial (PET), eventos científicos, visitas técnicas, atividades culturais, políticas e sociais*, têm como objetivo propiciar uma formação científica e sócio-cultural mais abrangente, ampliando assim os horizontes de uma formação profissional meramente técnica.

Além disso, essa idéia de currículo, que as diretrizes curriculares para os Cursos de Química apresentam, traz consigo a noção de que deve ser privilegiado o papel e a importância do aluno, como um elemento ativo no processo da aprendizagem, onde o papel do professor, de "ensinar coisas e soluções", passe a ser "ensinar **o estudante a aprender** coisas e buscar soluções". Também deve existir uma preocupação com uma formação mais geral do estudante e com a inserção, nos currículos institucionais, de temas que favoreçam a reflexão sobre caráter, ética, solidariedade, responsabilidade e cidadania.

De acordo com o MEC/CNE, as tendências atuais apontam para a necessidade dos cursos de graduação apresentarem estruturas flexíveis, que venham a permitir ao graduando ter opções de áreas de conhecimento e atuação, articulação permanente com o campo de atuação do profissional, base filosófica com enfoque na competência, abordagem pedagógica centrada no aluno, ênfase na síntese e na transdisciplinaridade, preocupação com a valorização do ser humano e preservação do meio ambiente, integração social e política do profissional, possibilidade de articulação direta com a pós-graduação e forte vinculação entre teoria e prática.

Mas para que novos currículos, montados sobre um novo modelo educacional, sejam eficazes, deve haver tanto uma mudança de postura institucional, não apenas em relação as suas normas, mas inclusive no campo das ações e decisões da comunidade universitária, como também um novo envolvimento do corpo docente e dos alunos. Já não se pode aceitar o ensino seccionado, departamentalizado, no qual disciplinas e professores se desconhecem entre si.

Além disso, ainda de acordo com as novas diretrizes curriculares para os cursos de Química, a qualificação científica não irá produzir o efeito necessário se não estiver acompanhada da atualização didático-pedagógica, principalmente no que se refere ao melhor aproveitamento das novas tecnologias que se renovam continuamente. As instituições necessitam tanto compreender e avaliar seu papel social quanto redefinir e divulgar seu projeto pedagógico. Aos alunos caberá buscar um curso que lhes proporcione a formação profissional almejada com qualidade.

Para Silva (1999), o currículo, entendido como *"conhecimento, crenças, hábitos, valores selecionados no interior da cultura de uma sociedade, constituindo o conteúdo próprio da Educação, deve ser considerado como espaço onde os conhecimentos devem ser constantemente reconstruídos"*. Essa concepção de currículo insere-se na perspectiva de que se faz necessário definir uma linha filosófica, humanística e social de atendimento à tecnologia emergente, diante das rápidas mudanças que vem ocorrendo, onde temos que considerar a educação de um novo homem para uma nova época. Essas mudanças determinam novas interpretações e novos olhares que sugerem a produção de novas capacidades mentais, cognitivas e afetivas.

A literatura mostra ainda que as discussões a respeito do currículo apresentam questões relacionadas à globalização, interdisciplinaridade, transdisciplinaridade, flexibilização curricular, novas tecnologias, ideologia, cultura e poder, entre tantas outras.

A flexibilização curricular muitas vezes é associada, erroneamente, apenas com o rompimento do esquema rígido de pré-requisitos, característica da maioria dos cursos superiores, o que iria permitir ao aluno traçar um caminho próprio na sua formação, em função de suas necessidades e interesses. Um dos pontos fundamentais, relacionado com a flexibilização curricular, constitui-se em considerar que o currículo deve abranger um conjunto diferenciado, e ao mesmo tempo articulado, de experiências de aprendizagem, dentre as quais a disciplina é uma delas, mas não a única.

Entende-se que o aluno aprende em sala de aula, mas também por meio de sua participação em outras atividades tais como: pesquisa, extensão, eventos relacionados com sua área de atuação, experiências estas que devem fazer parte do currículo. Podemos observar que, em grande parte das universidades brasileiras, a articulação da extensão e da pesquisa com o ensino é muito pequena ou até mesmo, em alguns casos, inexistente.

Silva (1999) argumenta ainda que a questão central que serve de pano de fundo para qualquer teoria do currículo é saber qual conhecimento deve ser ensinado, ou seja, qual conhecimento ou saber é considerado importante ou válido ou essencial para merecer fazer parte do currículo. O autor alega ainda que, para formar um ser humano crítico e participativo na sociedade, é necessário selecionar conteúdos diferentes

daqueles que são tradicionalmente escolhidos e que não priorizam esses aspectos. Para Silva (1999), o currículo é uma questão de saber, identidade e poder. A seleção de um determinado conteúdo para compor o currículo de um curso, está relacionada com a noção de poder, no sentido de que ao se efetuar tal seleção, estar-se-á privilegiando alguns conteúdos em detrimento de outros. O conteúdo do currículo sempre estará refletindo interesses do grupo que o elabora, levando em conta não apenas aspectos técnicos, mas também o contexto social e cultural do momento.

Ainda, segundo o autor, sempre que se pensa em currículo, considera-se apenas o conhecimento, esquecendo-se de que o conhecimento que constitui o currículo está "inextricavelmente, centralmente, vitalmente, envolvido naquilo que somos, naquilo que nos tornamos: na nossa identidade, na nossa subjetividade".

A MATEMÁTICA NOS CURSOS DE QUÍMICA

É senso comum, entre as pessoas, que a Matemática é uma importante área do conhecimento humano, que serve de poderoso instrumento para o conhecimento do mundo e o domínio da natureza, sendo facilmente identificada nas atividades intelectuais principalmente naquelas relacionadas às ciências exatas.

No currículo dos cursos de Química do Brasil, como também em grande parte dos cursos em nível superior, a Matemática se apresenta na forma de disciplinas de formação básica. Nesses cursos, de uma maneira geral, confere-se à Matemática o papel de desenvolver o raciocínio lógico do aluno e fornecer a base teórica para as demais disciplinas do curso. Com relação aos

cursos de Química, as diretrizes curriculares enfatizam a necessidade dos alunos possuírem:

(...) habilidade suficiente em Matemática para compreender conceitos de Química e de Física, para desenvolver formalismos que unifiquem fatos isolados e modelos quantitativos de previsão, com o objetivo de compreender modelos probabilísticos teóricos, no sentido de organizar, descrever, arranjar e interpretar resultados experimentais, inclusive com auxílio de métodos computacionais.

A Resolução 08/2002 do CNE/CES, que estabelece as diretrizes curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química, determinou como conteúdos básicos essenciais para a área de Matemática, os seguintes tópicos: *Álgebra, funções algébricas de uma variável, funções transcendentais, cálculo diferencial e integral, seqüências e séries, funções de várias variáveis, equações diferenciais e vetores.*

De acordo com as diretrizes, esses conteúdos matemáticos asseguram, em parte, a formação básica que dá fundamento teórico à profissão. É importante ressaltar que a escolha dos conteúdos que irão fazer parte de um determinado currículo é função do contexto histórico. Assim, o que hoje é considerado fundamental pode não o ser amanhã, caracterizando então a importância de uma reflexão constante acerca das componentes do currículo.

Ainda de acordo com as diretrizes, os tópicos descritos anteriormente como conteúdos básicos essenciais para a área de Matemática, devem servir apenas como orientação, considerando-se a autonomia da instituição e o perfil desejado para o profissional a ser formado. Conseqüentemente, pode-se observar que a grade curricular dos Cursos de Química apresenta-se de maneira diferente em cada um desses cursos, tanto

em relação aos conteúdos, quanto em relação à carga horária, particularmente também no que se refere às disciplinas da Matemática.

O mínimo de horas, estabelecido pelas diretrizes curriculares, para a Matemática é de 240 horas dentre às 2.400 horas-atividade estabelecidas como a duração mínima de um curso de Química no Brasil - em qualquer de suas habilitações. Podemos observar, através da estrutura curricular destes, que existem diferenças tanto em relação a esse número de horas quanto às disciplinas que fazem parte do currículo, devido talvez às especificidades e características de cada curso e regiões nas quais eles se inserem.

Basicamente, os cursos de Química exigem, no mínimo, 240 horas de aulas de Matemática obrigatórias, distribuídas no decorrer do curso (8 semestres) e entre as disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral e Estatística. Algumas das instituições de Ensino Superior de Química, aqui analisadas, além do mínimo de horas estabelecido para as disciplinas da Matemática (240 horas) apresentam, em sua grade curricular, disciplinas da Matemática como optativas e/ou complementares.

A descrição detalhada dos conteúdos de cada uma das disciplinas da Matemática, que compõem a grade curricular dos cursos de Química, podem ser encontrados no CD em anexo. As informações contidas nesse estudo foram obtidas através das home-pages de cada uma das Instituições de Ensino de Química aqui apresentada. Tomei como base apenas os cursos de Bacharelado em Química e Química Tecnológica (ou Química Industrial).

Capítulo 4

Matemática em Serviço

Neste capítulo procuro situar, na literatura existente sobre o tema, a problemática da Matemática como disciplina em serviço e o mérito dessas disciplinas para a formação do profissional, levando em conta o fato de que o descontentamento, apontado nesse estudo, relacionado com as disciplinas da matemática em um curso de Química, tem sido também observado, de uma maneira geral, em várias outras disciplinas em serviço no ensino superior.

4.1. A Matemática como uma disciplina em Serviço

Nesse estudo “disciplina em serviço” é entendida como disciplinas da matemática, ministradas por professores de matemática em cursos para não-matemáticos (Howson et al, 1988a) como, por exemplo, Estatística para o curso de Farmácia e Odontologia, Cálculo Diferencial e Integral para os cursos de Química, Física, Biologia, Geologia, Engenharia, etc.

Até bem pouco tempo atrás, podíamos observar que a Matemática, no ensino superior, estava restrita basicamente aos cursos de Matemática, Física e Engenharia. Hoje em dia, se formos olhar alguns dos

livros de Química, Biologia, Economia, Agronomia, Informática, etc, utilizados em nossas Instituições de Ensino Superior, poderemos observar que esses livros contêm muito mais fórmulas matemáticas e estatísticas do que no passado.

A tendência de todas as Ciências parece ser cada vez mais se "matematizarem", como consequência do desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevem os fenômenos (determinísticos ou aleatórios) naturais de maneira adequada. Hoje em dia, praticamente todas as áreas do conhecimento, demandam conhecimento, compreensão e raciocínio matemático (Torres et al., 1999).

A velocidade com que o desenvolvimento tecnológico da atualidade vem ocorrendo, faz com que seja cada vez menor o tempo que sucede entre o desenvolvimento de uma teoria matemática e sua utilização prática. Nas Ciências Sociais, Química, Farmácia e Odontologia, por exemplo, a Matemática e a Estatística são, hoje em dia, ferramentas extremamente úteis para qualquer profissional dessas áreas.

Resumindo, talvez se possa afirmar que saber utilizar a Matemática, hoje em dia, é uma condição necessária para o sucesso em uma grande parte das profissões da atualidade. Como consequência desse fato, a maioria das disciplinas matemáticas é ministrada em cursos para a formação de não-matemáticos. Apesar da aparente importância que é atribuída a essas disciplinas, nos contextos em que se inserem, elas são pouco compreendidas e avaliadas enquanto disciplinas em serviço (Howson et al., 1988a).

Existe, de uma maneira geral, quase que um consenso quanto ao fracasso do ensino da Matemática, particularmente em disciplinas em

serviço, tendo em vista a maneira com que os processos de ensino e aprendizagem têm se desenvolvido. Isso faz com que a Matemática nos cursos onde é ministrada, em sua grande maioria, pareça assumir apenas um papel a cumprir na grade curricular, sem nenhuma utilidade para a formação humana, cultural e técnica dos profissionais da área a qual ela está a serviço.

Atualmente, os grandes desafios que os países têm enfrentado, estão fortemente relacionados com as contínuas e profundas transformações sociais causadas pela velocidade com que novos conhecimentos científicos e tecnológicos têm sido gerados, sua rápida propagação e uso pelo setor produtivo e pela sociedade em geral. Esse progresso científico e tecnológico vem acarretando alterações no modo de produção, na distribuição da força de trabalho e na sua qualificação.

Dentro desse novo contexto, insere-se a importância de uma atualização permanente do Ensino Superior, em conformidade com as rápidas transformações da sociedade, do mercado de trabalho e das condições de exercício profissional.

Nessa perspectiva, torna-se cada vez mais necessário reconsiderar as questões de por que ensinar certos tópicos e de que maneira ensiná-los. Podemos apresentar pelo menos duas razões para esse fato: a primeira está relacionada com as mudanças nas necessidades de uma determinada disciplina X pela matemática, devido às transformações científicas e tecnológicas da atualidade e a segunda, com o aumento crescente da disponibilidade de computadores e softwares cada vez mais poderosos.

De uma maneira geral, existem algumas atividades que estão diretamente ligadas à prática docente: *definir o currículo de um curso;*

planejar um período letivo; preparar uma aula; estudar qual o melhor método a ser aplicado; etc. A preparação de cada uma dessas atividades, no caso do ensino de matemática para não-matemáticos, pressupõe três interrogativas: *Por que ensinar Matemática? O que ensinar de Matemática? e Como ensinar Matemática?* Essas questões serão discutidas com mais acuidade nas seções posteriores.

4.1.1 Por quê ensinar Matemática?

Segundo Simons (1988), a necessidade pela matemática aparece a partir da conclusão de que algumas ferramentas matemáticas são indispensáveis para resolver problemas relacionados com uma determinada disciplina X. A demanda pelo ensino em serviço é muito maior, tanto quantitativamente quanto qualitativamente, para cursos em que a matemática é usada freqüentemente.

De acordo com Howson et al (1988), as possíveis respostas à questão *Por que ensinar Matemática para não-matemáticos?* dependerão da disciplina X, mas certamente diferentes respostas podem ser obtidas dos especialistas em X, dos estudantes e dos futuros empregadores desses estudantes.

Segundo os autores, é atribuída à matemática, como disciplina em serviço no ensino superior, uma maior ou menor importância (quer seja por alunos ou docentes) dependendo tanto das aspirações profissionais do indivíduo (escolha da carreira), como também das disciplinas que fazem parte da grade curricular do curso escolhido. Por exemplo, para a Física, Astronomia,

Engenharia e Química Teórica, a Matemática permeia praticamente o todo de cada um desses cursos. Já para cursos como Biologia, Medicina, Farmácia, Odontologia, etc. a Matemática facilita o entendimento de certos conceitos e é utilizada para construir e explicar modelos quantitativos.

Segundo Bacciotti e Boieri (1988), por causa da falta de cooperação constante, na pesquisa, entre matemáticos e engenheiros, geralmente os matemáticos têm uma importância secundária nas escolas de Engenharia. Do ponto de vista dos alunos, a falta de integração entre a Matemática e sua aplicação gera dúvidas de por que alguns tópicos são ensinados. Simons (1988) também aponta um problema relacionado com as disciplinas em serviço no que se refere à importância que os alunos atribuem às disciplinas da Matemática. Segundo ele, como os alunos não escolheram a Matemática como seu campo principal de estudo, eles dão pouca prioridade ao assunto e a consideram apenas um obstáculo a superar. Uma outra razão para essa atitude, segundo o autor, é que os alunos não têm idéia sobre o papel que a Matemática realmente representa no seu curso.

Ainda de acordo com Bacciotti e Boieri (1988), é senso comum que a Engenharia, a Economia e as Ciências requerem uma Matemática avançada em um nível de pesquisa. Contudo, existe uma opinião bastante difundida, entre os especialistas, de que muitos graduados apenas utilizarão, em seu trabalho, fórmulas descobertas e verificadas por outras pessoas. Assim, segundo essa perspectiva, os estudantes deveriam apenas ser capazes de ler a matemática muito mais do que compreendê-la e saber aplicá-la.

Roubine (1988), corrobora a idéia de que a Matemática é importante para que o profissional possa compreender a literatura profissional

da sua área e tenha condições de discutir com os matemáticos que possa vir a consultar. Ou seja, para ele, a Matemática – como uma disciplina em serviço – deveria ser fundamentalmente utilizada como uma linguagem de comunicação.

O argumento utilizado, pelo autor, para justificar essa concepção, é de que os avanços tecnológicos têm sido extremamente rápidos o que dificulta a escolha e os limites de um currículo específico. Além disso, ele argumenta que seria impossível ministrar todos os conteúdos matemáticos, necessários para acompanhar essa evolução, num período de tempo tão curto de graduação.

Bacciotti e Boieri (1988) rejeitam a interpretação exposta acima, alegando que, mesmo se um estudante não utilizar, em seu trabalho futuro, toda a matemática que ele aprendeu na Universidade, estudar Matemática é um bom exercício para melhorar o rigor, a precisão e a capacidade de compreensão do indivíduo.

Ahmed (1988) além de considerar a importância da Matemática como uma linguagem de comunicação, relaciona-a também com o enriquecimento cultural e intelectual que estudar matemática confere a seus estudantes e usuários.

Warren S. Warren (1994), professor de Química da Universidade de Princeton, Califórnia, afirma que “[...] muitos aspectos importantes da química podem apenas ser memorizados, não entendidos, sem uma simpatia pela Matemática. Por exemplo, a mecânica quântica permite-nos prever a estrutura dos átomos e moléculas de uma maneira bastante

condizente com as evidências experimentais, mas sua lógica intrínseca não pode ser entendida sem as equações."

Mais recentemente, O Dr Grahan Doggett (1997), pesquisador em Química teórica e inorgânica no departamento de Química da Universidade de York afirmou que as conseqüências por ensinar um curso de Química Moderna estão se tornando desafiadoras pois todos os ramos da Química baseiam-se, de maneira crescente, em técnicas matemáticas, em processos químicos de modelagem ou no processamento de resultados experimentais.

Em relação à questão *por que ensinar Matemática em um curso de Química*, Doggett considera que, como muito da Química se reduz a algumas fórmulas, o desenvolvimento das habilidades matemáticas provê os estudantes com: a) uma habilidade de transferência muito importante; b) um formalismo para unificar fatos isolados; c) modelos quantitativos de previsão.

Quando se discute acerca do por que ensinar determinados conteúdos, não se pode furtar das reflexões sobre o que ensinar, tema que será tratado na subseção a seguir.

4.1.2 O que ensinar de Matemática?

Que matemática deveria ser ensinada para não-matemáticos? Em relação ao conteúdo de uma disciplina em serviço, Ahmed (1988) alega que a ênfase deve estar relacionada com a parte da matemática que depende da imaginação visual: descrição e interpretação de gráficos, reconhecimento de curvas, apreciação de modelos, visualização de movimento e

de relações tridimensionais. Também, parte do que é ensinado deve estar relacionado a capacitar o estudante a dominar a linguagem do ensino.

Howson et al. (1988) apresentam dois problemas relacionados ao ensino em serviço: o tempo limitado disponível para o ensino da Matemática e o fato de que para muitos estudantes falta motivação para o estudo da Matemática. Segundo os autores, isso nos força a aceitar como incontestável que o ensino em serviço não pode suprir os estudantes com toda a matemática que eles provavelmente poderão precisar no exercício de suas atividades profissionais.

Diante da impossibilidade do ensino conseguir abranger toda a matemática que poderia ser utilizada na vida profissional dos alunos de um determinado curso (por exemplo, álgebra e teoria dos números tem sido utilizadas na teoria dos códigos e criptografia, topologia algébrica na química das grandes moléculas), Howson et al. (1988) apresentam alguns critérios para a seleção dos conteúdos.

- **o estudante deve ser capaz de fazer uso daquelas ferramentas das quais ele necessita.** Ele deve, portanto estar restrito a questões concretas, técnicas e conceitos. A melhor motivação é considerar exemplos descritos pelas disciplinas específicas do seu curso, que podem ser resolvidos utilizando técnicas e conceitos matemáticos.
- **O estudante tem a sua disposição computadores e softwares.** Esse fato determina a não necessidade de ensinar muitas técnicas e habilidades, mas cria uma demanda por outras qualidades. O estudante deve saber onde buscar ajuda, o que ele pode perguntar

ao computador e como guiar e controlar a máquina. Ele deve desenvolver o conhecimento e as habilidades necessárias para isso. A parte matemática tomará lugar nesse processo como um modo de pensamento, um exercício mental e um aprendizado em rigor.

- **O estudante tem menos necessidade em fazer matemática do que saber como ler matemática.** Nesse caso, a literatura profissional é que sustentará seu desenvolvimento contínuo, mais do que fazer uso da Matemática. Deve, portanto, ser ensinado ao aluno estudar Matemática como uma linguagem mais do que uma ferramenta, ou seja, como ler, consultar e utilizar referências. A Matemática assume sua importante posição como um elemento da cultura e uma ciência em constante desenvolvimento.

Goodstein (1983) mostra em seu trabalho que enquanto nas décadas de sessenta e setenta surgiram notáveis propostas de currículos, nenhum esforço foi feito para a parte matemática da química. Na conclusão do trabalho, ela afirma que: *"É tempo para a comunidade química examinar criticamente o uso da matemática"*.

Dence publicou, em 1970, um trabalho em que considerou a matemática necessária para um aluno de um curso básico universitário de Química. Neste artigo o autor ressalta que, o aluno ao entrar para a Universidade esquece facilmente que muito da matemática que aprendeu no colégio é útil em cursos introdutórios de Química e Física e indica as seguintes áreas da Matemática como as mais importantes para um aluno de um curso básico universitário: *soluções de equações algébricas, relações funcionais entre variáveis, operações com logaritmos e probabilidade e estatística.*

Segundo o autor, soluções de equações algébricas aparecem freqüentemente em problemas de balanceamento de equações e cálculos de pH de uma solução. Um problema em que, segundo o autor, aparece a relação funcional entre variáveis, é considerar um conjunto de dados experimentais e gerar através deles alguma função razoável. Em relação à probabilidade e estatística, o autor esclarece que as estruturas dos átomos e moléculas são discutidas não sobre uma base determinística mas sim sobre uma base estatística. Apesar disso, não descartou que outras áreas poderiam ser também importantes.

Em relação à questão *o que deve ser ensinado*, Doggett (1997) considera que sempre haverá diferença nas opiniões a respeito, e que ele considera importante que o estudante de um curso de Química tenha um bom conhecimento de *aritmética e álgebra, funções de uma ou mais variáveis, cálculo, números complexos, álgebra linear e manipulação de dados*, levando em conta que (segundo o autor) estes tópicos fornecem uma base para a compreensão de *termodinâmica, espectroscopia e cinética*.

4.1.3. Quem deve ensinar Matemática?

A questão sobre o que ensinar traz consigo uma discussão sobre *"Quem deve ensinar matemática para não-matemáticos?"*. De acordo com Howson et al. (1988), determinadas universidades dos Estados Unidos (não citadas pelos autores) adotam algumas atitudes quanto aos dois problemas, relacionados com o ensino em serviço, apresentados anteriormente (o tempo limitado disponível para o ensino da matemática e o fato de que para muitos estudantes falta motivação para o estudo da matemática): familiarizar os estudantes com as técnicas matemáticas que poderão ser-lhes úteis ou

essenciais em outros cursos e oferecer condições para que eles adquiram alguma confiança em manejá-las.

Nesse sentido, a lógica, segundo os autores, é que os docentes das disciplinas específicas é quem deveriam ensinar os conceitos matemáticos que eles iriam utilizar. Eles utilizam como justificativa para essa idéia, o fato desses docentes estarem conscientes das necessidades inerentes a sua disciplina, bem como a introdução de idéias matemáticas poderia ser cronometrada com suas aplicações.

Os autores apresentam ainda como vantagens: coerência em ensinar, motivação dos estudantes e uso uniforme da linguagem e simbolismo. Eles citam como exemplos de experiências nesse sentido, o caso dos físicos de Cardiff¹⁶, que ministram as disciplinas da matemática.

Nos cursos de engenharia de Cardiff os cursos de Matemática são ministrados principalmente por matemáticos puros, uma situação em que os engenheiros não consideram inteiramente satisfatória, como podemos observar através da fala de um deles: *"Os estudantes de engenharia deveriam ser ensinados por engenheiros, ou pelo menos por matemáticos alocados na Faculdade de Engenharia. O problema mais simples é a motivação, que é mais bem obtida se o ensino fosse feito por engenheiros que são respeitados pelos estudantes e que podem apresentar exemplos para ilustrar a matemática de seu próprio trabalho... A Matemática, para os engenheiros, deve ser ensinada como um meio para um fim (e não como um fim em si mesmo) uma disciplina intelectual para sua própria consideração, o que é difícil para os matemáticos terem consciência disso."*

Murakami (1988) apresenta como resultado de sua pesquisa junto a docentes da faculdade de engenharia, da universidade onde trabalha, e docentes de departamentos de matemática em serviço de outras universidades, que tinha como objetivo investigar como melhorar a educação matemática para estudantes de Engenharia, que como a maioria dos docentes sente-se com pouco conhecimento matemático, entende-se que eles considerem que são os matemáticos quem deveriam ensinar a maioria dos assuntos.

O resultado não esperado pelo autor foi o fato dos matemáticos responderem que algumas áreas da matemática aplicada poderiam ser mais bem ensinadas pelos engenheiros. Tanto engenheiros quanto matemáticos responderam que os tópicos relacionados com cálculo, álgebra linear, funções complexas, análise de Fourier, equações diferenciais, análise vetorial e análise funcional deveriam ser ensinados pelos matemáticos, enquanto análise numérica deveria ser ensinada pelos engenheiros. A única diferença é sobre probabilidade e estatística que, de acordo com os engenheiros, eles é que deveriam ensinar, enquanto os matemáticos pensam o contrário.

O autor argumenta ainda que, embora não seja necessariamente verdade que os matemáticos possam ensinar Matemática melhor do que os engenheiros, talvez os assuntos pudessem ser ensinados pelos matemáticos com a ajuda dos engenheiros, decidindo quais exemplos

¹⁶ Universidade De Cardiff, Cardiff, Wales, Reino Unido.

apresentar, de que maneira ensinar, como construir o método de ensino e assim por diante.

Quanto à questão *quem deve ensinar Matemática*, Doggett (1997) considera que alguns cientistas defendem a tese de que a Matemática deva ser ensinada pelos matemáticos (em parte por razões profissionais e em parte porque vêem a matemática como uma habilidade de transferência), enquanto outros (incluindo de mesmo) defendem que ela deva ser ensinada por físicos ou químicos teóricos alegando que o tempo disponível para ensinar matemática é limitado e que a matemática é mais efetivamente ensinada no contexto da química.

4.1.4. Como ensinar Matemática?

Em relação a quem deve ensinar os assuntos que fazem parte do conteúdo das disciplinas da matemática, Simons (1988) estabelece um paralelo com a maneira que esses assuntos devam ser ensinados. Ele argumenta que se os alunos precisam apenas de uma certa familiaridade com as ferramentas matemáticas, então o ensino de técnicas será suficiente; contudo, se o papel da Matemática é mais fundamental, então deve ser dada também uma ênfase aos conceitos matemáticos. Nesse caso, o ensino deveria ficar a cargo dos matemáticos. Mesmo na primeira situação, o ensino de Matemática deve ficar com os matemáticos, uma vez que eles possuem o background matemático necessário para explicar as técnicas matemáticas e um conhecimento mais amplo para saber quais técnicas podem ser aplicadas em situações específicas.

Simons (1988) relaciona a maneira de ensinar matemática para não-matemáticos, com o nível de conhecimento matemático com que os alunos chegam à Universidade. Em alguns casos o nível é considerado aceitável, mas em outros, torna-se necessário iniciar as disciplinas ministradas, principalmente no primeiro ano, com conteúdos matemáticos do ensino médio. Bacciotti, e Boieri (1988) corroboram esse fato e, além disso, argumentam que devido ao fato dos alunos entrarem para a Universidade com uma base matemática muito fraca, as disciplinas do primeiro ano devem proceder lentamente.

Com relação à maneira de ensinar matemática para não-matemáticos, Howson et al. (1988) argumentam que, em uma disciplina em serviço, algumas vezes pode-se substituir a demonstração (muito longa e pouco esclarecedora) por outros argumentos. Boas ilustrações físicas podem ser mais esclarecedoras do que demonstrações teóricas. Por outro lado, o trabalho exploratório e a verificação em um computador podem dar a certas afirmações matemáticas o status de verdades "experimentais".

Com relação à validade dos argumentos matemáticos utilizados, Baldino (1995a) afirma que o sentido do conhecimento matemático é diferente para o professor de uma determinada disciplina matemática em serviço e para os seus alunos. Diferentemente do professor, que está preocupado com os resultados matemáticos, o que o submete a teoremas e demonstrações, a preocupação do aluno, de uma disciplina matemática em serviço, está relacionada com a possibilidade de utilização desse conteúdo.

Howson et al. (1988) apresentam alguns modelos que consideram como ideais para o ensino em serviço. Em Southampton, o curso

para químicos é ministrado por um matemático, mas cada estudante, juntamente com três ou quatro outros, é assistido quinzenalmente por um químico que fará uma supervisão tutorial utilizando material e exemplos fornecidos pelo matemático.¹⁷

Murakami (1988) sugere, em sua pesquisa, que os matemáticos estão mais convencidos do que os engenheiros de que habilidades e conhecimento são mais importantes para os estudantes de Engenharia do que o pensamento matemático. O autor ressalta ainda que provavelmente as opiniões pudessem ser diferentes se a pesquisa fosse elaborada junto aos matemáticos teóricos.

Os resultados obtidos para a questão relativa ao método de ensino mostram que tanto os engenheiros quanto os matemáticos consideram que os dois métodos – ensinar a teoria primeiro e depois apresentar exemplos ou apresentar primeiro exemplos e introduzir a teoria extraindo propriedades comuns a esses exemplos – deveriam ser empregados dependendo do assunto que está sendo ensinado. Segundo os entrevistados, assuntos como cálculo ou assuntos teóricos como análise funcional devem ser ensinados apresentando a teoria primeiro e depois exemplos, enquanto análise numérica, por exemplo, pode ser ensinada pelo outro método.

Em geral, as relações entre exemplos, conceitos e intuição geram maiores questões pedagógicas. Os conceitos como medida e grupos, por exemplo, não são acessíveis, apesar de sua aparente simplicidade, a menos que

¹⁷ Um químico escreveu a respeito dizendo: *“muitos de meus colegas concordam comigo que na Química de Southampton temos a situação ideal no que diz respeito a considerações acadêmicas. Nos tutoriais os químicos podem relacionar o material coberto com a Química, apontar a relevância para o curso de Química e (é esperado) fornecer alguma motivação.*

sejam apoiados com numerosas ilustrações e exemplos. Esta é a realidade de todo o ensino de Matemática, mas infelizmente dentro do ensino em serviço os estudantes não dispõem de tempo suficiente para que tais noções possam se tornar familiares e intuitivas (Howson et al., 1988)

Algumas questões são postas aqui. *"A matemática ensinada para estudantes de Engenharia é diferente da matemática ensinada para estudantes de Matemática?"* *"A maneira de ensinar matemática para estudantes de Engenharia deveria ser diferente daquela para estudantes de Matemática?"*. Segundo Murakami, a matemática para estudantes de Engenharia não deveria ser diferente, uma vez que essa matemática é, antes de tudo, matemática. Quanto à maneira de ensinar matemática, o autor acha que não deveria ser diferente, mas que é necessário estar atento para o fato de que os estudantes de Matemática pura escolheram a Matemática como sua disciplina principal enquanto os estudantes de Engenharia pensam na Matemática apenas como uma ferramenta para seus estudos.

De acordo com Bacciotti e Boieri (1988), como nem toda a matemática aplicada ou aplicável à Engenharia pode ser ensinada durante a graduação, a maneira de ensinar Matemática pode ser aperfeiçoada para tornar possível habilitar os estudantes não apenas para o uso de técnicas matemáticas tradicionais (álgebra, derivada, integrais, etc.), mas também para o uso da lógica e da linguagem matemática.

A necessidade pelo rigor nas ciências naturais pode ser provada, segundo esses autores, enfatizando o papel da Matemática no processo de descoberta (do experimento para os modelos teóricos e vice-versa, da situação real para idéias abstratas e vice-versa). Deste modo, o

estudante é estimulado a assumir uma atitude crítica para com um dado problema. Os autores apresentam como exemplo, introduzir a teoria das equações diferenciais de duas maneiras: como um problema abstrato - que opera com qualidades e relações, e não com a realidade sensível - (para encontrar uma família de funções que satisfaz algumas condições matemáticas) e como um modelo de problemas reais.

Segundo Ahmed (1988), a questão de como ensinar disciplinas em serviço é vital e o sucesso de qualquer programa de matemática em serviço depende disso. A minha experiência tem mostrado que qualquer resposta a essa questão é sempre insatisfatória em algum sentido. Como resultado, falta aos estudantes de matemática em serviço motivação e um sentido de propósito.

4.2. A influência dos computadores

Ainda com relação às disciplinas matemáticas em serviço, Howson et al. (1988) questionam o fato de que o progresso da Matemática e o renascimento de alguns velhos tópicos sobre a influência dos computadores, força a revisão curricular. Pressões nesse sentido também aparecem por causa do progresso em outros cursos. De acordo com os autores, é essencial que se reflita acerca do impacto dos computadores no ensino da Matemática, sobre as novas possibilidades oferecidas por eles e sobre as mudanças necessárias causadas por sua introdução - mudanças no conteúdo curricular e também nas qualidades desejáveis para serem desenvolvidas nos estudantes. Até mesmo

nos campos onde a educação matemática é uma tradição – como a Física e a Engenharia – são necessárias muitas mudanças.

Avanços nas ferramentas matemáticas e computacionais tornam as técnicas mecânicas e até mesmo as habilidades menos importantes do que no passado. A compreensão matemática torna-se muito mais importante quando estudantes e profissionais utilizam computadores, sistemas de manipulação simbólica e outros tipos de novas tecnologias. Dessa forma, deve-se ensinar os alunos como utilizar os softwares disponíveis no mercado e como formular os problemas de maneira que eles possam resolvê-los, usando esses softwares, o que requer uma profunda compreensão dos conceitos (Simons, 1988).

Diante disso, a literatura estudada mostra que muitos docentes ainda estão presos ao desenvolvimento de habilidades técnicas e memorização de fórmulas, preocupando-se muito pouco com a compreensão matemática dos alunos (Franchi, 1993; Howson et al., 1988; Villarreal, 1999).

O impacto dos computadores reforça cada vez mais a idéia de que os conceitos deverão ser a ênfase no ensino das disciplinas em serviço. Em relação a esse fato, Kleinfeld (1996) argumenta que as reformas referentes à disciplina Cálculo têm sugerido que haja um aumento do ensino de conceitos, que relacionam a matemática com as diversas áreas do conhecimento, e uma diminuição no treino de habilidades matemáticas.

Por exemplo, hoje em dia ainda se despende muito tempo nas técnicas de encontrar um limite e raramente se ensina o que o limite é; o uso do computador permite que se concentre na idéia do que é um limite e como o

conceito de limite é usado em várias situações, enquanto os cálculos mais complicados são deixados a cargo do computador. Dessa forma, os pesquisadores, não mais preocupados com os cálculos fastidiosos, têm utilizado as novas tecnologias (computador, calculadoras gráficas) procurando favorecer maneiras diferentes de adquirir o conhecimento, como por exemplo, a visualização (Borba, 1995; Souza, 1996).

Simons (1988) argumenta ainda que o computador não muda a Matemática, mas ele modifica os problemas que são resolvidos pela Matemática.

A necessidade de se reconsiderar o conteúdo das disciplinas em serviço, devido ao crescente aumento do uso dos computadores nas academias, é apresentado por Simons (1988) como um dos problemas relacionado à importância destas para os estudantes de graduação. Além da questão relativa à necessidade de mudanças curriculares, com a introdução das novas tecnologias na sala de aula, têm-se verificado várias outras como, por exemplo, questões relativas a novas dinâmicas exigidas em sala de aula e reflexões sobre o novo papel do professor (Borba, 1995).

Algumas questões são postas aqui: *Quais são os assuntos tradicionais que deveriam ser trabalhados de maneira diferente devido ao uso do computador? Que geometria deveria ser incluída? Qual é o lugar da estatística e da probabilidade? Deveriam ser introduzidas gradativamente quando surgisse necessidade, ou apresentadas como um curso estruturado?* Segundo Howson et al. (1988), as respostas a essas questões podem ser diferentes para a Química, Física, Biologia ou Economia.

4.3. Ainda sobre a Matemática em Cursos de Serviço

Podemos observar que já há muito tempo a literatura vem apontando problemas relacionados com a preparação matemática dos alunos em um curso de Química. *Williams* (1952) mostra em seu trabalho que a causa principal da dificuldade em Físico-Química, uma das áreas da Química, está relacionada com a preparação matemática dos alunos, onde as dificuldades mais comuns apresentadas por eles estão relacionadas ao uso de logaritmos, à habilidade para reconhecer sob quais condições a integração é possível e com o conceito de diferencial exata. Em relação ao conceito de diferencial exata, o autor assinala que uma preparação matemática adequada poderia tornar quase que automática a compreensão da Termodinâmica elementar, desde que os conceitos físicos sejam explicados.

Um outro problema relacionado com as disciplinas em serviço, principalmente aquelas do primeiro ano, apontado por *Simons* (1988), está relacionado com a incapacidade dos alunos em utilizar a matemática em contextos diferentes dos da sala de aula e com a falta de domínio conceitual, acarretando dúvidas se as disciplinas tradicionais são tão úteis como pensamos que são.

A falta de motivação para se estudar Matemática é apresentada por quase todos os autores estudados, como sendo um dos grandes problemas relacionados com o ensino de matemática para não-matemáticos. Segundo esses autores, os estudantes não percebem a importância e a utilidade da matemática enquanto estão estudando Cálculo ou Álgebra Linear. Mais tarde, quando realmente precisarem da Matemática, encontrarão dificuldade para acompanhar o curso, ou porque estão atarefados

com o estudo de assuntos relacionados com a sua formação ou por falta de conhecimento fundamental de Matemática.

Uma solução para o problema de motivação para estudar Matemática, de acordo com esses autores, é ensinar os conceitos matemáticos através de exemplos contextualizados na área relativa ao curso em questão. Segundo o autor, ensinar Matemática com exemplos poderá convencer os estudantes que a Matemática é útil e importante. Para fazer isso o docente deveria conhecer as disciplinas do curso, para o qual a Matemática é ministrada, tão bem quanto a matemática e isso talvez pudesse significar que a matemática devesse ser ensinada por docentes não-matemáticos.

Nesse sentido, Simons argumenta que não é fácil encontrar bons exemplos, ou porque são muito triviais ou porque necessitam de conhecimentos que ainda não foram adquiridos obrigando o professor de Matemática a ensinar tópicos da disciplina X. Como de uma maneira geral, os matemáticos não têm muito conhecimento sobre como a matemática é utilizada na disciplina X, uma interação entre os matemáticos e os professores dessa disciplina torna-se necessária.

O problema também existe do outro lado, ou seja, com muita frequência professores da disciplina X raramente conhecem os conteúdos das disciplinas da Matemática. Posso até ousar dizer que muitos docentes não têm uma idéia clara sobre a matemática de que eles realmente precisam.

Ainda em relação à utilização de exemplos, contextualizados na área relativa ao curso em questão, alguns autores acreditam que o fato de apresentar aplicações, dos conteúdos matemáticos estudados, não responde

aos questionamentos de alunos e docentes sobre a importância e a necessidade de se ensinar e aprender Matemática – referindo-se ao ensino de Cálculo. (Bressoud, 1996; Kleinfeld, 1996).

Em contrapartida, alguns pesquisadores e docentes acreditam que a Matemática não se faz importante apenas pela sua aplicabilidade, mas também por isso, e defendem o uso de aplicações para que as aulas de Matemática se tornem mais interessantes e motivadoras (Filho et al., 1999; Soares et al., 1999).

Outro aspecto referente à Matemática como disciplina em serviço, apresentado por Howson et al., relaciona-se ao uso de livros e artigos. Já foi ressaltado que os estudantes devem aprender como ler matemática quer seja para aprender matemática, quando não existe professor à mão, ou para compreender sua literatura profissional. Segundo os autores, para o ensino em serviço é bom utilizar textos escritos com a colaboração dos matemáticos e dos especialistas nas disciplinas específicas do curso. Tais livros existem, mas são muito vazios.

Milne (1997) em seu estudo aponta ainda para o fato de que cada vez mais os matemáticos e os químicos estão publicando trabalhos onde a Matemática é aplicada a problemas químicos. Apesar desses trabalhos conterem grandes contribuições para a Química, percebe-se que se tem evitado os problemas mais interessantes e difíceis. Ele revela, por exemplo, que o problema de estimação de propriedades físicas a partir da estrutura de um composto, tem produzido muitas publicações, grande parte delas com bastante êxito. O problema inverso, determinação das estruturas que possuem determinadas propriedades, raramente é estudado e nunca por matemáticos.

Segundo ele, isto é uma pena, porque esses problemas são matematicamente complexos e os matemáticos poderiam dar contribuições significativas para tais questões.

Milne afirma ainda que as publicações na área da Química fazem uso freqüente e qualificado de métodos como o reconhecimento de modelos, regressão linear e análise de componente principal, todas técnicas estatísticas. Assim como a Estatística, a Mecânica Quântica, enquanto um ramo da Física que requer uma compreensão e uma facilidade com o Cálculo Diferencial, também tem se tornado uma metodologia padrão no instrumental matemático dos químicos.

Cole et al (1998), professores do departamento de Química e Materiais da Universidade Metropolitana de Manchester, acreditam que os cursos de Química atuais devam passar por grandes mudanças, levando em conta vários problemas relacionados a estes cursos. Entre os problemas apontados, estão os seguintes: *a Matemática; os estudantes têm problemas em relacionar as disciplinas do currículo quando ensinadas separadamente; os estudantes acreditam que o conhecimento é mais importante do que a aquisição de habilidades de transferência; os programas são extensos conduzindo à uma aprendizagem superficial.* Nesse artigo, os autores limitam-se a apontar a Matemática como sendo um dos problemas detectados sem, contudo esclarecer de que maneira isto acontece.

Após situar o leitor no contexto da Matemática em serviço, e antes de dar início a apresentação dos dados, no próximo capítulo irei abordar as questões relacionadas à metodologia de pesquisa.

Capítulo 5

Metodologia

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para a realização dessa pesquisa, que tem como questão central buscar uma compreensão sobre a Matemática na formação do químico contemporâneo.

Tais procedimentos incluem: a escolha e a justificativa da abordagem de pesquisa que orienta o estudo, as etapas de desenvolvimento do estudo, a descrição do contexto, os procedimentos e o instrumental de coleta e análise dos dados, além de um relato sobre as dificuldades encontradas durante o processo de desenvolvimento do estudo.

5.1 A escolha e a justificativa da Metodologia

Com a finalidade de desenvolver o estudo proposto, buscando compreender qual é a importância atribuída pelos químicos à Matemática decidi por um estudo inserido numa perspectiva qualitativa de investigação, que busca uma compreensão¹⁸ daquilo que se estuda e não a explicação¹⁹ dos fenômenos estudados. Eu estava ciente que essa opção deveria estar em concordância com a pesquisa como um todo e que a metodologia escolhida precisaria ser adequada para tratar do problema relacionado com a pesquisa em questão (Alves-Mazzotti, 1998).

Assim, antes de iniciar a descrição dos procedimentos adotados, vi como necessário mostrar a adequação da metodologia escolhida ao estudo proposto. Com o intuito então de justificar a escolha da metodologia utilizada, apresento a seguir algumas características dessa pesquisa, que estão de acordo com as particularidades dos estudos qualitativos.

A primeira dessas características surge já na escolha da minha pergunta de pesquisa, que se originou a partir de inquietações e questionamentos surgidos no decorrer da minha vida profissional como docente. Minhas experiências pessoais e profissionais, relacionadas ao contexto desse estudo e aos sujeitos, introduzem vieses na interpretação dos fenômenos observados (Alves-Mazzotti, 1998).

¹⁸ **compreensão:** faculdade de perceber (adquirir conhecimento de, formar idéia de)

¹⁹ **explicação:** justificação (dar razão a; fundamentar; demonstrar; provar)

Outra característica comum entre o estudo proposto e as particularidades das pesquisas qualitativas é o fato do foco de atenção especial do pesquisador ser o “significado” que as pessoas dão às coisas. No caso desse estudo, a maneira como os participantes da pesquisa consideram as questões que estão sendo focalizadas (Bogdan e Biklen, 1994).

Além disso, minha preocupação está relacionada com o “aprofundamento da compreensão de um determinado fenômeno”, mais uma característica dos estudos qualitativos (Goldemberg, 1997: p.14).

Neste estudo, resolvi adotar uma focalização mais aberta, sem um referencial teórico interpretativo, dimensões ou categorias definidas, esperando que a fundamentação teórica se manifestasse a partir da análise dos dados (Lincoln e Guba, 1989), mais uma das particularidades de uma pesquisa qualitativa. Segundo esses autores, adotar teorias “*a priori*” em uma pesquisa confunde a visão do pesquisador, levando-o a enfatizar determinados aspectos e a desconsiderar outros, muitas vezes igualmente relevantes no contexto estudado, mas que não se encaixam na teoria adotada. Além disso, nenhuma teoria selecionada *a priori* é capaz de dar conta das especificidades de um dado contexto.

A decisão por uma focalização mais aberta baseia-se ainda no fato de que a realidade estudada é pouco conhecida e assim um planejamento menos estruturado parece ser o mais adequado neste caso, muito embora eu reconheça as dificuldades inerentes a uma proposta desta natureza, ou seja, podemos perder tempo, nos perder em um emaranhado de dados e não encontrar significado algum para eles (Alves-Mazzotti, 1998). Levando em conta esse fato, torna-se necessário esclarecer que a pesquisa não

foi totalmente desprovida de um planejamento desde seu início. Houve um planejamento inicial sobre a maneira como eu iria desenvolver a pesquisa, ainda que não estruturado de maneira rigorosa.

Assim, considerando as características do estudo apontadas e sua relação com as particularidades de uma pesquisa qualitativa, a metodologia de pesquisa qualitativa foi considerada a mais adequada.

5.2 Obtenção dos dados

5.2.1 Os Participantes do Estudo

A primeira questão que surge, no processo de obtenção dos dados, é a identificação dos participantes que estão envolvidos no estudo proposto. Levando em conta que se trata de um estudo que tem como objetivo principal saber qual é a importância atribuída pelos químicos à Matemática, a população foi definida como sendo:

1. químicos docentes alocados nas diversas Instituições de Ensino de Química de todo o país;
2. químicos que estejam atuando na indústria ou em áreas afins.

No que se refere à escolha dos participantes, não houve um processo seletivo, no caso dos docentes, uma vez que foram considerados, como sujeitos da pesquisa, todos os químicos docentes existentes nas Instituições de Ensino de Química do país. É claro que não se esperava uma participação efetiva de todos, mas a idéia principal era poder contar com o maior número possível deles.

Já no caso dos químicos não-docentes, inicialmente procurei entrar em contato com aqueles que trabalhavam em indústrias próximas a Araraquara²⁰, o que não obtive muito êxito. Numa segunda tentativa para a seleção dos sujeitos da pesquisa, foi utilizada a técnica da “bola de neve”, sugerida por Lincoln e Guba (1985), que consiste em identificar uns poucos sujeitos e pedir-lhes que indiquem outros, os quais, por sua vez, indicam outros e assim sucessivamente.

5.2.2 Os Procedimentos e Instrumentos de Coleta de Dados

Estabelecida a população do estudo, e dando continuidade ao desenvolvimento da pesquisa, levando em conta que o foco do estudo relaciona-se com o ponto de vista dos químicos acerca da importância que é atribuída por eles à Matemática, a proposta inicial era utilizar a entrevista como principal fonte de dados.

Assim, o passo seguinte foi a realização de entrevistas com cinco químicos docentes do Instituto de Química de Araraquara e dois químicos não docentes de uma indústria numa cidade próxima a Araraquara. Contudo, devido à dificuldade em agendar essas entrevistas, por motivo de disponibilidade ou falta de tempo do entrevistado, decidi utilizar questionários como uma outra alternativa para a coleta de dados.

Diante dessa nova possibilidade, uma preocupação que surgiu logo no início do processo de coleta de dados foi o baixo índice de resposta que se poderia obter, apontado por Goldenberg (1997) como uma das

desvantagens em se utilizar o questionário para a coleta de dados. A par dessa desvantagem, os questionários foram elaborados e, no início, entregues pessoalmente e/ou através de cartas. O baixo retorno dos questionários levou-me a escolher uma outra maneira para encaminhá-los aos participantes da pesquisa.

Vi então a possibilidade de enviá-los por meio dos endereços eletrônicos (e-mail) dos participantes, que foram obtidos pela Internet através das home-pages de suas instituições de origem, ou por meio de informações obtidas de seus pares. A possibilidade de utilizar o e-mail para fazer a coleta de dados, permitiu atingir um número de participantes que seria praticamente impossível de outra forma.

Foram então contatados, inicialmente, os químicos docentes das várias Instituições de Ensino de Química do país e químicos de diferentes indústrias, informando-os da pesquisa e verificando a possibilidade deles estarem participando desta. Para os que responderam, colocando-se a disposição para estarem participando do estudo em questão, foi enviado um questionário para ser respondido. Assim, para a coleta dos dados, pude contar com 77 químicos docentes e 19 químicos não docentes.

Esta segunda fase do processo de coleta de dados foi realizada durante o ano de 1999. Acho importante abrir um parêntese aqui para salientar a eficácia da utilização do correio eletrônico para a coleta de dados, pelo menos neste caso onde os participantes do estudo eram professores universitários e profissionais químicos atuantes. Pude constatar

²⁰ A escolha de indústrias próximas a Araraquara, para iniciar o processo de coleta de dados, deu-se pelo fato da pesquisadora residir nesta e, assim, pensou-se que tal fato facilitaria o acesso a essas

que, mesmo para questões que não estavam explícitas no questionário, a riqueza dos discursos permitiram que eu pudesse refletir também acerca destas, enriquecendo sobremaneira o estudo em questão. Como exemplo, posso citar o fato de que a questão sobre "*Quem deve ensinar Matemática para os químicos?*" surgiu a partir dos dados e era uma questão que, em todos esses anos atuando como docente de disciplinas em serviço, nunca havia parado para pensar a respeito.

A seguir, irei descrever cada um desses passos com maiores detalhes.

5.2.2.1. As entrevistas

As entrevistas, realizadas com 5 (cinco) químicos docentes e 2 (dois) químicos não-docentes, foram desenvolvidas a partir de perguntas abertas, o que permitiu ao entrevistado respondê-las livremente sem qualquer tipo de restrição (Alves-Mazzotti,1998). As entrevistas, agendadas com uma semana ou mais de antecedência, dependendo da disponibilidade do entrevistado, foram realizadas individualmente e, na medida do possível, no local de trabalho de cada um dos entrevistados. Foi utilizado um roteiro como referência, o que não descartou a possibilidade de que outras questões fossem incluídas durante a realização das mesmas o que, de certa maneira, caracterizou o roteiro como uma orientação geral e não como um esquema fechado. As questões da entrevista foram as seguintes:

1. Como você vê a importância da Matemática para a formação dos químicos?
2. Como você vê a importância da Matemática em seu trabalho?
3. Que Matemática você utiliza no seu dia-a-dia?

Os depoimentos foram gravados e transformados em textos para que pudessem ser analisados posteriormente. Esta primeira fase abrangeu praticamente todo o segundo semestre de 1998, ao final do qual fez-se necessário uma alteração em relação à técnica utilizada para a coleta de dados, como já explicado anteriormente.

5.2.2.2. Os questionários

Os questionários foram estruturados de modo a permitir que todos os entrevistados (77 químicos docentes e 19 químicos não-docentes) respondessem às mesmas perguntas e assim ser possível comparar as respostas mais facilmente. As perguntas foram do tipo abertas: *resposta livre, não limitada por alternativas apresentadas*, embora se estivesse consciente de que a análise das respostas, neste caso, seria mais difícil. (Goldenberg, 1998)

Para a investigação junto aos químicos docentes, os questionários contavam com as seguintes perguntas:

1. Qual a importância que você atribui ao conhecimento matemático para a formação do químico?
2. Quais os conceitos matemáticos que você considera importantes para a formação de um químico? (tais conceitos podem ou não estar relacionados com a disciplina que você é responsável)

A primeira questão serviu para que se pudesse ter uma idéia mais clara sobre a visão dos docentes a respeito da importância da Matemática para a formação dos químicos e assim entender melhor as informações obtidas através da segunda questão.

Com relação aos químicos não-docentes, o questionário contou com apenas uma questão:

Quais os conceitos matemáticos que você utiliza no seu trabalho?

uma vez que, entre os químicos não-docentes o objetivo era apenas saber quais eram os conceitos matemáticos que eles estavam utilizando em suas atividades profissionais diárias e assim, poder relacionar tais informações com as já obtidas através das outras questões estabelecidas para os químicos docentes.

Assim, contando as entrevistas e os questionários, pude contar com 82 químicos docentes e 21 químicos não-docentes para a coleta de dados, perfazendo um total de 103 participantes. O encerramento da coleta de dados deu-se no momento em que o surgimento de novos dados tornava-se cada vez mais raro, atingindo um "ponto de redundância" a partir do qual não mais se justificava a inclusão de elementos novos. (Lincoln e Guba, 1985, Alves-Mazzotti, 1998).

Com as entrevistas e os questionários pretendi averiguar qual a importância atribuída pelos químicos à Matemática e, paralelamente, saber quais os conceitos matemáticos que estão sendo utilizados por eles em suas diversas atividades, acreditando que tais informações seriam de grande valia para se ter uma idéia mais clara sobre a relação da Química com a

Matemática nos dias de hoje e, também, para uma possível sugestão de reestruturação do conteúdo programático das disciplinas da área de Matemática de um curso de Química.

Passo agora a descrever o procedimento utilizado para a análise dos dados contidos nos questionários e depoimentos das entrevistas.

5.3 Análise dos Dados

Terminada a fase da coleta, eu tinha em mãos uma quantidade enorme de dados (as transcrições das entrevistas e os questionários aplicados aos químicos docentes e não docentes), que precisavam ser organizados, com o propósito de interpretar²¹ e tornar compreensível o material recolhido.

O processo de redução, organização e interpretação dos dados começou já durante a fase inicial da coleta de dados e acompanhou toda a investigação, tornando-se mais sistemático e mais formal após o encerramento do recolhimento dos dados.

A execução da análise dos dados constituiu-se em um processo continuado, não-linear, indutivo, onde a minha preocupação não era comprovar nem contestar hipóteses pré-estabelecidas, mas sim, buscar compreender os fatos da maneira como eles aconteciam. Ou seja, a pesquisa é indutiva no sentido de que o pesquisador desenvolve conceitos, idéias e

²¹ **Interpretar** - atribuir significado à análise, explicando os padrões encontrados e procurando por relacionamentos entre as dimensões descritivas (Patton, 1980)

entendimentos a partir de padrões encontrados nos dados, ao invés de coletar dados para comprovar teorias, hipóteses e modelos pré-concebidos.

É importante salientar que, apesar de não contar com categorias pré-estabelecidas para o desenvolvimento do estudo proposto, eu não estava livre de pré-concepções uma vez que a pergunta diretriz da pesquisa surgiu a partir da minha experiência e vivência pessoal e profissional, acumuladas enquanto docente em um Instituto de Química.

Miles e Huberman (1984) apontam três atividades iterativas e contínuas para a análise de dados em pesquisas qualitativas:

- **Redução dos dados** – processo contínuo de seleção, simplificação, abstração e transformação dos dados originais provenientes das observações de campo;
- **Apresentação dos dados** – organização dos dados de tal forma que o pesquisador consiga tomar decisões e tirar conclusões a partir deles;
- **Delineamento e verificação da conclusão** – identificação de padrões, possíveis explicações, configurações e fluxos de causa e efeito, seguida de verificação, retornando às anotações de campo e à literatura, ou ainda replicando o achado em outro conjunto de dados.

Assim, para a análise foram feitas sucessivas leituras do material coletado procurando fragmentar a grande quantidade de dados obtida em unidades menores para, em seguida, reagrupar esses dados, organizando-os

em categorias de tal forma que se consiga tomar decisões e tirar conclusões a partir deles.

A partir da definição das unidades de análise, que trazem consigo as concepções dos químicos a respeito da importância da Matemática, procurei verificar a regularidade com que determinados temas, observações e comentários apareciam, constituindo-se em uma base para a construção de um conjunto inicial de categorias. Vale destacar que durante essa fase da análise, estive consciente acerca do fato de que tal conjunto de categorias poderia vir a ser modificado no decorrer do estudo, originando novas concepções e, conseqüentemente, novos focos de interesse (Ludke e André, 1986).

Considerando a orientação de Lincoln e Guba (1985), em relação ao conjunto inicial de categorias, procurei ficar atenta para que as categorias refletissem, antes de tudo, o foco da investigação e, além disso, tomei o cuidado para que uma unidade de análise não fosse classificada em mais de uma categoria ou sub-categoria.

Dessa forma foi possível, através dos dados, ir além da simples descrição dos conteúdos buscando, num esforço de abstração, meios que possibilitassem a proposição de novas explicações e interpretações dos significados de tais conteúdos. (Ludke e André, 1986).

Após explicitar os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa, passo agora a apresentar os dados, obtidos a partir das manifestações dos químicos acerca da importância atribuída por eles à Matemática, bem como uma discussão dos mesmos.

Capítulo 6

Apresentação dos Dados

A finalidade deste capítulo é apresentar alguns aspectos relevantes da Matemática para a formação dos químicos, a partir do ponto de vista dos químicos docentes de várias Instituições de Ensino de Química do país e de alguns profissionais químicos.

6.1 Ensino de Matemática na formação dos químicos – Algumas concepções dos químicos docentes

Apresento aqui, minha leitura dos dados, no que diz respeito a relevância do ensino da Matemática para a formação dos químicos, estabelecidos a partir da fala dos docentes.

Vimos, anteriormente, que: *definir o currículo de um curso; planejar um período letivo; preparar uma aula; estudar qual a melhor metodologia a ser aplicada; etc.* são algumas das atividades que estão ligadas à prática docente. No caso do Ensino de matemática para químicos, a elaboração de cada uma delas traz consigo três questões: *Por que ensinar Matemática num curso de Química? O que ensinar de Matemática num curso de Química? e Como ensinar Matemática num curso de Química?*

Apesar da última questão não estar explícita nos questionários e nas entrevistas realizadas com os docentes, os dados do presente estudo proporcionam algumas reflexões também em relação a ela. No caso de uma disciplina em serviço, como é o caso da Matemática para a formação dos químicos, uma outra questão que se apresenta, e que também foi levantada por alguns dos docentes entrevistados, refere-se a *quem deve ensinar matemática para os químicos?*

Essas não são questões fáceis de serem respondidas e nem é escopo desse estudo buscar respostas para elas. O objetivo aqui é buscar um entendimento sobre tais questões e, a partir daí, constituir uma base sólida para compreender a Matemática na formação do químico contemporâneo.

Procurei então organizar os dados, obtidos junto aos químicos docentes, de acordo com as questões apresentadas anteriormente. É importante observar que essas perguntas, que agrupam os temas, não surgiram somente da análise da literatura. Também emergiram da análise dos dados, que foi feita simultaneamente com a revisão da literatura sobre currículo, apresentada no capítulo 2. Finalmente, as próprias perguntas que foram feitas aos participantes da pesquisa, também ajudaram no que veio a se tornar a organização deste capítulo.

6.1.1. As razões de se ensinar Matemática para os químicos.

Com relação à questão *por que ensinar matemática num curso de química?*, os docentes entrevistados, de uma maneira geral, parecem estar conscientes em relação ao papel que a Matemática desempenha na formação do químico. Apesar disso, as manifestações quanto à importância do conhecimento matemático para a formação dos químicos apresentam uma distinção de natureza e de nível de importância.

Para alguns, o valor da Matemática está relacionado com o aspecto formativo do indivíduo no que diz respeito ao desenvolvimento de suas capacidades cognitivas, pondo em evidência sua relação com a formação básica do indivíduo, ou seja, o desenvolvimento de conhecimentos e capacidades gerais estabelecidas no perfil profissional.

(...) o ensino de Matemática em um curso de Química é de fundamental importância ... no que se refere, principalmente, à oportunidade de auxiliá-lo a desenvolver o raciocínio, a pensar logicamente.

Mesmo que o químico especialize em uma área totalmente experimental como síntese, acho que o estudo de cálculo é de vital importância para o desenvolvimento de raciocínio (...)

O raciocínio matemático leva a pessoa a desenvolver sua capacidade lógica de argumentação e pensamento.

(...) qualquer outro ramo da Matemática, faz o interessado pensar de modo abstrato e com um pouco mais de rigor, mesmo que o assunto não esteja ligado diretamente com algum aspecto da Matemática.

Portanto, o conhecimento matemático, se adquirido de uma forma coerente e competente, deve auxiliá-los muito no exercício do pensar.

De acordo com os docentes, esse valor formativo, está associado ao desenvolvimento do raciocínio lógico como também de outras capacidades intelectuais tais como comparar, analisar, relacionar, classificar, colocando em evidência a *formação básica* do aluno como um dos motivos de se

ensinar Matemática para os químicos. Em relação aos químicos que atuam junto às áreas da Química que utilizam pouca Matemática em suas investigações, esse é o argumento mais utilizado, para justificar a importância da Matemática para a formação dos químicos contemporâneos.

Para o aluno de Química, que normalmente está vinculado com as técnicas de medida e observação, a abstração matemática, muitas vezes, é considerada como algo desnecessário. É uma opinião profundamente equivocada e difícil de ser modificada.

Além disso, a Topologia como qualquer outro ramo da Matemática, faz o interessado pensar de modo abstrato e com um pouco mais de rigor, mesmo que o assunto não esteja ligado diretamente com algum aspecto da Matemática.

Sinto por mim mesma que se faz necessário uma sólida formação nos conceitos fundamentais da matemática que dê ao aluno condições de abstrair.

Já outros docentes entrevistados consideram que o mérito da Matemática está em proporcionar aos químicos o conhecimento matemático necessário à compreensão de conceitos químicos e/ou físico-químicos, atribuindo então às disciplinas da Matemática um caráter *propedêutico* (que prepara para receber ensino mais completo) no processo de formação do químico. Esse é o argumento mais utilizado, entre os docentes entrevistados, para justificar a importância da Matemática.

(...) sem formação matemática, um químico não tem condições de absorver os conceitos mais elementares da física, termodinâmica (clássica e estatística), quântica e espectroscopia, que ele necessita.

(...) aprender series ajuda na compreensão da espectroscopia vibracional (...)

As vezes, as dificuldades dos alunos em entender conceitos químicos derivam de sua deficiência em matemática.

(...) nós químicos, poderíamos aproveitar muito mais até o conceito físico da coisa, se você entendesse bem o que tem de matemática por trás disso.

Existem também, manifestações dos docentes, quanto ao papel da Matemática na formação do químico contemporâneo, relacionadas com a resolução de problemas em algumas das áreas da Química, principalmente na Físico-Química e na Química Teórica.

Este conhecimento não precisa ser muito aprofundado porém suficiente para resolver problemas da área (...)

Além de constituir-se em instrumento necessário para a resolução de muitos problemas, principalmente nas áreas de Físico-Química e Química Teórica.

Atribuo uma grande importância ao conhecimento da matemática para o curso de química, porque é uma ferramenta que o químico deve estar habituado a usar para resolver inúmeros problemas, principalmente na área de físico-química.

Desde há muito sabe-se que uma base sólida em matemática melhora o desempenho geral de qualquer profissional, sobretudo no que diz respeito à agilidade para decifrar e resolver problemas.

A Matemática também é reconhecida, pelos docentes, como facilitadora na análise de fenômenos e sistemas naturais, sendo considerada como a principal ferramenta para extrair informação quantitativa sobre estes e como uma linguagem que proporciona meios para a comunicação de idéias.

Muito importante, pois o pleno domínio do conhecimento na área de Química, depende em muitos e importantes casos, do entendimento de modelos que, necessariamente, são descritos matematicamente para que possam explicar e prever (qualitativa e quantitativamente) comportamentos de sistemas.

(...) possa discutir e apresentar resultados em linguagem científica correta.

(...) o problema é muito mais sério ... é você pegar um livro deste (aponta para o livro de físico-química que está sobre a mesa) ler e entender o que está lendo. Agora para entender, por que que não entende o que está lendo? Porque não sabe Física e Matemática (...)

Entre os docentes entrevistados, existem ainda aqueles que atribuem à Matemática um caráter mais *terminal*, referindo-se à utilidade do conhecimento matemático para o desenvolvimento de conhecimentos e capacidades diretamente ligadas à atuação profissional. É importante

ressaltar que foram pouquíssimas as respostas relacionadas a este aspecto da importância da Matemática para a formação do químico, ficando a impressão de que o profissional químico pouco utiliza os conhecimentos matemáticos em sua prática diária.

O químico utiliza Matemática rotineiramente em sua atividade profissional. Ele realiza cálculos cuja natureza depende da atividade específica em que atua. Em maior ou menor grau o conhecimento de Matemática é importante para a profissão.

(...) creio que o químico depende da matemática (e de outros conhecimentos) para exercer sua profissão com eficiência e qualidade.

Alguns docentes também se manifestaram quanto à necessidade de saber Matemática, principalmente hoje em dia, para que o indivíduo possa dispor dos recursos atuais da tecnologia, bem como se situar na atualidade.

Percebe-se ainda, através das manifestações dos docentes entrevistados que, apesar de serem praticamente unânimes em considerar a Matemática importante para a formação dos químicos, algumas manifestações diferenciam-se quanto ao nível de importância.

Enquanto alguns dos docentes consideram a Matemática muito importante para a formação dos químicos,

Seguramente a matemática é uma disciplina bastante importante para a formação, não apenas do químico, mas de qualquer profissional (...)

Eu considero a matemática muito importante para o curso de química, especialmente para os químicos teóricos.

Nos tópicos relacionados a Físico-Química, a exigência de conhecimentos de Cálculo, Geometria Analítica e Estatística são importantíssimos.

já outros nem tanto:

Atribuo uma importância mediana (...)

Pode-se observar ainda que é atribuída uma maior ou menor importância à Matemática, dependendo da área de atuação do docente. Por exemplo, para os docentes que trabalham junto à área de Química Orgânica, talvez pelo fato de utilizarem menos Matemática em suas investigações, quando atribuem um valor ao conhecimento matemático, acabam por relacioná-lo com outras áreas da Química ou sentem-se pouco à vontade para emitir uma opinião a respeito.

Reconheço a importância da matemática em Físico-Química e outras áreas da Química.

(...) visto que minha área de atuação é em Química Orgânica, e basicamente como químico utilizo as operações básicas da matemática, assim sendo não me sinto à vontade para responder as suas questões (...)

Por outro lado, as respostas dos docentes que atuam na área de Físico-Química mostram que a sua totalidade considera a Matemática como uma importante aliada, atribuindo assim uma grande importância ao conhecimento matemático para a formação dos químicos.

(...) como sou professor de físico-química, a matemática é uma ferramenta essencial para o trabalho e desenvolvimento de conceitos e fenômenos (...) E como a físico-química é importantíssima para o entendimento dos fenômenos químicos, a matemática toma importância ímpar em um curso de graduação.

Pode-se observar ainda, através das opiniões dos docentes, que este é um dos argumentos mais utilizados para justificar a importância da Matemática para a formação dos químicos. Isto se deve talvez ao fato da Físico-Química ser considerada, desde o seu surgimento, como sendo a grande usuária da Matemática dentre todas as demais áreas que compõem a Química.

Em relação aos docentes da área de Química Inorgânica existem opiniões contrárias quanto ao nível de importância atribuída à Matemática para a formação dos químicos. Enquanto alguns docentes consideram a Matemática muito importante para a formação profissional dos químicos,

Considero a matemática importante praticamente em todas as áreas do conhecimento, mesmo nas menos evidentes como a música ou a psicanálise (...) de forma que na Química, como em todas as ciências exatas,, é indiscutível o quanto é indispensável à matemática na formação de um profissional, no caso um químico.

outros se manifestam diferentemente quanto a isso:

Apesar de químico nunca trabalhei em uma área que houvesse necessidade de profundos conhecimentos de matemática.

Também, entre os químicos analíticos, existem opiniões contrárias em relação ao nível de importância atribuída à Matemática para a formação dos químicos.

Acredito que a matemática tem uma importância cada vez mais crescente para a formação do químico.

Na minha área de trabalho o Cálculo é muito pouco utilizado (...)

Através das manifestações dos químicos docentes, quanto à razão de ensinar Matemática para os químicos, pode-se observar que o papel que a Matemática representa para a formação dos químicos está fundamentado em alguns dos valores desta Ciência. Assim, as razões apontadas pelos docentes, para o ensino da Matemática, estão associadas basicamente a seu caráter *utilitário* e *formativo*. O valor *utilitário* apresenta a Matemática como instrumento para a vida, para o trabalho e para outras ciências, revelando-se na matematização de situações reais observadas e através da construção de modelos para interpretá-las.

O valor *formativo* aparece associado ao desenvolvimento do raciocínio lógico e de outras habilidades mentais tais como analisar, comparar, classificar, relacionar, etc. Ainda que não seja este um privilégio da Matemática e, muito embora esta prática não esteja presente na maioria das nossas instituições de ensino, parece haver entre os docentes entrevistados um consenso quanto a esse valor.

6.1.2. A maneira de se ensinar Matemática para os químicos

Outro aspecto relacionado com o ensino de matemática para os químicos contemporâneos, que aparece na fala dos docentes, refere-se a *como ensinar matemática*. Os docentes apresentam várias opiniões acerca de como é que os tópicos matemáticos deveriam ser trabalhados com os alunos de um curso de Química.

De uma maneira geral, os químicos docentes argumentam que é necessário mudar a forma de abordar o ensino da matemática e, com essa visão, alguns deles apresentam algumas opiniões a respeito de como é que a Matemática deveria ser ensinada para os químicos.

Algumas manifestações referem-se à necessidade de fazer com que o aluno incorpore os conceitos matemáticos de modo entrelaçado com o seu saber geral, utilizando muitos exemplos práticos de aplicação destes e destacando onde estes conceitos se inserem, por exemplo, dentro do panorama histórico.

As variáveis freqüentemente utilizadas pelos matemáticos (x , y , z , r , s , t , u , v) deveriam, segundo um dos químicos docentes, ser

substituídas por grandezas físicas usuais em Química como P(pressão), V (volume), T (temperatura), n (número de mol), G (Energia Livre), H (Entalpia), S (entropia), etc., para que os alunos pudessem perceber mais facilmente a importância da Matemática para os químicos.

De acordo com um dos químicos docentes entrevistados, é necessário trabalhar com o aluno na demonstração dos conceitos matemáticos, não se limitando apenas a suas aplicações.

(...) é importante que o aluno aprenda a demonstrar os resultados e não apenas aplicá-los mecanicamente.

Os conceitos matemáticos devem ser ensinados, segundo os químicos docentes, abordando sempre suas aplicações na Química e fornecendo, se possível, seus significados físicos. De acordo com as opiniões dos docentes, seria interessante relacionar os conceitos matemáticos com aqueles que o aluno aprende na Química. Dessa forma, durante o curso, deveriam ser mostrados, através de exercícios e exemplos, aonde é que o aluno utiliza a matemática na Química, argumentando que se o ensino de matemática estivesse mais próximo do "mundo" da Química, o aproveitamento dos alunos seria muito maior.

Alguns dos docentes entrevistados argumentam ainda, que:

Sem contextualização, qualquer conceito matemático para a formação do químico ou de qualquer outro profissional acaba sendo pouco aproveitado. Surgem dificuldades de aprendizagem, desmotivação e representa a perda de uma valiosa oportunidade de ensino/aprendizagem (...)

A falta de contextualização que existe, quando se relaciona a Matemática com a Química na esfera acadêmica, segundo os docentes, parece estar relacionado com a dificuldade que os alunos apresentam em relação a transferir um conhecimento obtido de um contexto para outro.

A transferência de conhecimento adquirido de uma situação para uma outra nova, é considerada pelos docentes entrevistados como um ponto crítico do aprendizado da Matemática e talvez, um dos grandes problemas relacionados com o seu ensino. Alguns dos docentes entrevistados manifestaram-se a respeito, apontando este fato como uma das grandes dificuldades apresentadas pelos alunos de um curso de Química em relação à Matemática.

(...) sinto que o aluno não correlaciona o que aprende na matemática e na física principalmente com os dados experimentais e nem com os modelos matemáticos simples da química.

Eles podem até saber, eles aprenderam isto na Matemática, só que quando eles vão fazer na prática eles não fazem. Então seria uma transferência do conceito que eles aprenderam para a situação que eles estão usando.

Segundo os docentes, os alunos não enxergam o mérito e a serventia da matemática, para a sua formação, enquanto estão estudando matemática. Mais tarde, quando realmente precisarem da matemática, apresentarão dificuldades para acompanhar o curso, em parte por falta de conhecimento básico de matemática. Contudo, eles argumentam ainda que, de acordo com a relevância do conceito matemático, seu estudo pode não representar problema na formação do profissional (o que remete à necessidade de adequação do conteúdo).

Como exemplos de como a Matemática poderia ser contextualizada na Química, os docentes citam: ensinar equação diferencial aliada ao estudo de Cinética Química, onde se estudam as reações de primeira e segunda ordem, que em síntese envolvem a resolução de equações diferenciais; mostrar que aprender séries ajuda na compreensão da espectroscopia vibracional; ou que estudar polinômios de Hermite é importante pois ajuda na hora dos estudos de físico-química (espectroscopia, regras de

seleção de transições). No caso de uma Titulação ácido-base, é necessário a compreensão e aplicação de derivadas e integrais.

Retomando o aspecto da maneira como ensinar Matemática para os químicos, um dos docentes argumenta ainda que o Cálculo Diferencial e Integral deveria ser trabalhado apenas geometricamente (derivada como tangente e integral como área), mas de modo conceitualmente tão firme que a associação seja automática - fórmulas encontram-se em tabelas. O conceito de limite também deveria ser trabalhado geometricamente, uma vez que um químico deve rapidamente saber encontrar tendências em curvas ou em um conjunto de dados.

Em relação ao uso das novas tecnologias, no processo de ensino e aprendizagem dos químicos, alguns dos docentes entrevistados manifestaram-se, de uma forma bastante favorável, quanto à necessidade de se utilizar o computador e, além disso, reconhecem a necessidade de um ensino mais voltado para o uso e não para a programação.

Os docentes consideram que os alunos devem aprender a utilizar determinados softwares matemáticos disponíveis no mercado, tanto para a resolução de problemas da área quanto para a elaboração de gráficos.

(...) a utilização de diversos programas computacionais, e citando o caso mais simples, as planilhas de cálculo são especialmente úteis na resolução dos problemas da química analítica, na elaboração de gráficos,
(...)

Outros, além de considerarem importante que os alunos aprendam a utilizar tais programas, atentam para o fato de que o ideal seria que eles tivessem conhecimento de alguns poucos conceitos e pudessem utilizar o computador para fazer os cálculos mais complicados.

(...) acho importante que os alunos aprendam a usar alguns dos programas matemáticos para computadores que estão disponíveis. Claro, de nada adianta se não souberem os conceitos, mas seria ideal que tivessem claros uns poucos conceitos e pudessem calcular usando programas.

Ainda com relação à utilização do computador, os docentes argumentam também ser fundamental, além de saber utilizar os programas, ter conhecimento matemático suficiente para saber o que está sendo feito, até para que se possa explorar melhor os recursos desses programas.

Saber usar programas computacionais: é fundamental mas não sei qual a melhor forma para isso. Ensinar rudimentos de alguma linguagem me parece muito questionável. Quanto a programas de cálculos e gráficos, acho importante ensinar a ser crítico e não limitar-se a executar procedimentos. Afinal, me preocupa a geração que ajusta quaisquer pontos com alguma função do Origin, por exemplo, sem saber o que esta função representa e, as vezes, sem a menor noção de porque fazer um ajuste de pontos.

De um modo geral os químicos, como outros profissionais dependentes de estatística, não sabem utilizar corretamente as ferramentas e pacotes estatísticos para uma análise de um conjunto de dados. Muito menos planejar experimentos, visando uma análise correta das variantes de um processo. Muitas vezes a gente pega um programa como o Origin, ou um pacote estatístico, e não sabe que ferramentas utilizar para analisar os dados e nem o que fazer com tais resultados.

De acordo com as manifestações dos químicos docentes, pudemos observar que existe quase que um consenso entre eles de que a Matemática deva ser ensinada como uma matemática aplicada. Nesse sentido, a visão deles, a respeito, é a de que os docentes responsáveis pelas disciplinas da Matemática deveriam utilizar problemas ou exemplos de aplicação contextualizados na Química.

6.1.3. Quem deve ensinar Matemática para os químicos.

Em consideração à falta de contextualização, apontada anteriormente como um fator de dificuldade dos alunos em relação ao ensino e aprendizagem da matemática, alguns pesquisadores defendem a idéia de que a

Matemática deva ser ensinada por físicos ou químicos teóricos, alegando que o tempo disponível para ensinar Matemática é limitado e que a Matemática é mais efetivamente ensinada no contexto da química.

Em relação a esse fato, um dos químicos docentes entrevistados levantou a questão sobre quem deve ensinar matemática para os químicos – matemáticos ou químicos? De acordo com o docente, não é necessário que um matemático ensine matemática para os químicos, argumentando que um professor de química poderia ensinar matemática para os químicos sem grandes problemas.

(...) eu não acho necessário que um professor da matemática ensina o aluno de química. Os problemas matemáticos, os quais o químico enfrenta durante dos seus estudos, podem ser facilmente apresentados e resolvidos por um professor de química. Existem livros texto excelentes na minha área de atuação com capítulos matemáticos.

Um outro docente argumenta que o ensino de alguns tópicos de Matemática deveria ficar a cargo dos químicos docentes sem, contudo, justificarem o por que de tal argumentação.

Um papel extremamente importante para o químico é a teoria de grupos e sua aplicação a simetria molecular. O ensino desta área fica com os químicos.

Ainda em relação a quem deve ensinar matemática para os químicos, esse mesmo docente argumentou que um estudo de físico-química acompanhado paralelamente por um tratamento matemático, dos assuntos relevantes, seria a melhor forma de ensinar um aluno de química.

6.1.4. Os conteúdos matemáticos importantes para a formação dos químicos.

Em relação à questão *o que ensinar de matemática para os químicos*, as respostas dos docentes foram bastante elucidativas, principalmente no que se refere ao contexto em que determinado tópico se insere. A seguir apresento então cada um dos tópicos, que os químicos docentes consideram importantes para a formação dos químicos, contextualizados na Química e na Física. Esses dados foram obtidos a partir da fala dos docentes, contidas nos questionários, que podem ser consultados no CD em anexo.

Além de apresentar os tópicos que os docentes idealizam como necessários para a formação do químico, procurei destacar alguns exemplos para que o leitor, não familiarizado com a Química, pudesse ter uma idéia mais clara acerca de como é que a Matemática insere-se no contexto da Química e/ou da Física como descrito pelos docentes entrevistados. Esses exemplos encontram-se no apêndice 1 deste estudo.

O conceito de **Logaritmo** é apresentado pelos docentes como sendo importante para facilitar cálculos algébricos: na eletroquímica; nas relações entre propriedades químicas e físicas; cálculo de pH, solução tampão, equilíbrio²² químico e em métodos analíticos. Além disso, os docentes argumentam a favor do ensino de **logaritmo**, para os químicos, devido à importância do seu conhecimento na elaboração de gráficos.

Funções e gráficos foi indicado pelos docentes como importante para a exibição e análise de resultados obtidos experimentalmente e também para que o aluno tenha idéia de como variam determinadas grandezas em função de outras e possa entender as relações entre elas. Além

disso, alguns docentes relacionaram a importância de um conhecimento sobre função com a dificuldade que o aluno teria ao trabalhar com um conjunto de pontos obtidos experimentalmente. Segundo esses docentes, mesmo que se treine esse aluno para colocar esses pontos em um gráfico cartesiano, dificilmente ele teria condição de identificar o comportamento da variável dependente em relação à variável independente, sem um conhecimento matemático a respeito.

De acordo com os docentes, o conceito de **Limite** é importante para a formação dos químicos, uma vez que, em muitas situações, eles precisam encontrar tendências em curvas ou em um conjunto de dados. Além disso, alguns docentes afirmam que tal conceito é importante principalmente para os químicos que trabalham em cinética das reações químicas (sem, contudo especificar o porque desse mérito nesse contexto).

Cálculo Diferencial foi apresentado pelos docentes como importante, devido ao fato de estar relacionado com alguns tópicos fundamentais de física e química tais como velocidade, energia²³, entropia²⁴, etc. De uma maneira geral, o conhecimento de **Derivada** foi citado pelos docentes como importante para a compreensão de conceitos relacionados com as diversas áreas que compõem a Química. **Derivadas de primeira e segunda ordem** são importantes, por exemplo, para a determinação do ponto final de uma titulação²⁵ por meio de medidas potenciométricas, através do ponto de

²² **equilíbrio** – estado no qual processos opostos ou reações ocorrem com a mesma velocidade, de maneira que nenhuma alteração global é observada.

²³ **Energia (E)** – habilidade de realizar trabalho

²⁴ **entropia (S)** – quantidade termodinâmica que mede o grau de desordem de um sistema.

²⁵ **titulação** – adição lenta, de um reagente, em uma solução até que o ponto de equivalência seja mostrado por um indicador colorido ou outro método

inflexão de uma curva de titulação, ou para avaliar a pureza de um pico cromatográfico.

Também, ainda segundo os docentes entrevistados, muitas das relações da Termodinâmica²⁶ são obtidas por técnicas de **derivação** das equações de estado. Citam ainda as relações, cujas **derivadas** descrevem as leis cinéticas das reações químicas, e as equações que descrevem as diversas formas de interação da matéria com a energia.

O conceito de **derivada** permite também desenvolver as relações termodinâmicas que descrevem a entalpia²⁷ (primeira lei da termodinâmica) e entropia (segunda lei da termodinâmica), com especial atenção para as regras de **derivação parcial**, assim como as leis cinéticas que descrevem a velocidade de uma reação química.

Importante também no caso de uma análise espectroscópica onde haja interferência (sobreposição de bandas), podendo-se recorrer à **derivada** primeira ou segunda para determinar os pontos de inflexão. Nos experimentos sua importância está relacionada com a interpretação de gráficos e dados resultantes de aparelhos de medida modernos.

A **derivada** também é considerada importante, na determinação de máximos e mínimos de funções e de pontos de inflexão, que auxiliam na formulação de condições de estabilidade e conservação e na análise de sistemas aquosos e respostas de detecção de instrumentos analíticos. Para

²⁶ **Termodinâmica** é o estudo das variações ou transformações de energia que acompanham as transformações físicas e químicas da matéria. que, aplicada à Química, permite-nos prever se uma transformação é possível ou impossível, sob dadas condições. A Termodinâmica descreve o comportamento macroscópico dos sistemas, ao invés de se preocupar com moléculas individuais.

²⁷ **entalpia** (H) – quantidade termodinâmica, útil na descrição de trocas de calor, que tem lugar em condições de pressão constante ($H = E + PV$)

qualquer distribuição de partículas, é necessário saber o máximo da distribuição. Sempre aparece a necessidade de saber em qual ponto se encontra o máximo e o mínimo da função.

Assim como a derivada, os docentes entrevistados atribuem à **Integral** uma importância muito grande para a formação do químico. Seu mérito, segundo os docentes, está relacionado com a dedução da equação da lei de Beer, que relaciona a absorvância de uma solução com a concentração do soluto absorvente; cálculo de áreas (na Física, na espectroscopia, etc.) e trabalho (na termodinâmica); cálculo de momentos de inércia e de valores médios.

Nos sistemas de partículas pequenas, o número de partículas trabalhado é muito grande, isto é, da ordem do número de Avogadro²⁸. Isto significa que as médias das distribuições são encontradas usando-se o conceito de **integral**. Da mesma forma, a área sob curvas, que descrevem determinado fenômeno, devem ser associados ao conceito de **integral**.

A **derivada parcial** é considerada muito importante ao longo de todo o curso de Termodinâmica Química, em Química Quântica (muitas vezes o conceito) e na definição de orbital. Um exemplo da utilização da derivada parcial na Termodinâmica, entre tantos outros, é o cálculo do coeficiente de expansão termal.

A dependência entre propriedades termodinâmicas, ou seja, entre propriedades consideradas *funções de estado* e propriedades

²⁸ número de Avogadro - número de átomos existentes em exatamente 12g de $^{12}_6\text{C}$: $6,02 \times 10^{23}$. O número de unidades em um mol.

consideradas *variáveis de estado* é um fato observável, cujas conseqüências podem ser aprofundadas com recursos da Matemática.

A **integral cíclica**, segundo os docentes, é um conceito bastante utilizado em qualquer modelo que envolve energia uma vez que a somatória de todas as etapas nesse processo tem que ser igual a zero.

Os conceitos de **diferencial parcial** e **total** são também necessários no estudo de Termodinâmica para saber, por exemplo, como a energia livre de Gibbs varia com a pressão e temperatura, como podemos ver através da expressão:

$$dG = - SdT + V dP$$

onde G é a *energia livre*²⁹ de Gibbs, T é a temperatura, P é a pressão, V é o volume e S a entropia³⁰.

O **Cálculo Vetorial**, segundo os químicos docentes, tem uma importante aplicação nas técnicas analíticas de deconvolução de espectros de absorção molecular e também de picos cromatográficos. Os docentes relacionam ainda sua importância com a química geral (estudo da polaridade dos compostos), com a química quântica e a espectroscopia. Além disso, os docentes argumentam que como o aluno precisa cursar física, então ele precisa ter conhecimento sobre **vetores**.

Considerando a especialização e o estudo das propriedades dos materiais (polímeros, por exemplo), de acordo com os docentes, existe toda uma série de conceitos matemáticos que envolvem **álgebra vetorial**. O

²⁹ energia livre (G) – quantidade termodinâmica que mede a energia de um sistema que é útil para realizar trabalho que não seja trabalho de expansão.

³⁰ A entropia mede a desordem de um sistema.

mesmo acontece ao se estudar fenômenos de superfície, relação entre matéria e energia radiante, calor, magnetismo, etc.

Conceitos associados à **geometria espacial** (simetria), segundo os docentes entrevistados, também são muito importantes na espectroscopia. Na Cristalografia, para um bom acompanhamento, seria desejável que, os alunos tivessem além dos conhecimentos básicos da matemática, noções de geometria espacial e esférica. Além disso, os docentes argumentam sobre a necessidade do aluno saber representar funções graficamente em três dimensões sem, contudo contextualizar tal utilização.

A expansão em **série** é muito utilizada em química quântica. Como na maioria dos casos, não é possível trabalhar com soluções exatas, geralmente trabalha-se com funções escritas na forma de expansões em termos de um conjunto base conhecido. Aprender **séries**, de uma maneira geral, ajuda na compreensão da espectroscopia vibracional, assim como **série de potências** auxilia na condição de linearidade na função que determina a relação entre a intensidade de fluorescência com a concentração.

Expansão em série de potências, segundo os docentes, é uma estratégia muito empregada em vários momentos de um curso de Físico-Química, assim como os conceitos de **séries** e **transformadas de Fourier** (usadas na análise da resposta de espectrofotômetros - em cristalografia, por exemplo, o método de Fourier é utilizado para a determinação de distâncias interatômicas em cristais) e **séries de Taylor** sem, contudo contextualizarem sua utilização.

A **Transformada de Laplace** é utilizada mais na pós-graduação, para resolver problemas de cinética química – nas soluções de equações diferenciais – nos quais ocorrem processos mistos, como por exemplo, a transferência de carga elétrica e difusão.

Números complexos aparecem na química quântica – por exemplo, a equação que descreve a evolução temporal de um sistema é uma equação que envolve um termo complexo.

Matrizes são muito utilizadas no estudo de estrutura atômica/molecular e espectroscopia. As equações do método Hartree-Fock podem ser obtidas utilizando-se a **forma matricial**, o que permite implementações computacionais muito eficientes. Resolução de sistemas de equações, através de **cálculo matricial**, é fundamental na resolução de equilíbrios químicos aquosos de ácidos e bases (especialmente de 5 a 7 equações e variáveis). O conceito de **matriz** é especialmente útil na resolução de equações lineares simultâneas para sistemas multicomponentes (na resolução das equações de balanço de massa, balanço de carga, balanço de protons e balanço de espécies).

As **equações diferenciais**, de uma maneira geral, são bastante utilizadas na Termodinâmica. Um exemplo seria a utilização de uma **equação diferencial**, na cinética química, para modelar uma reação de primeira, segunda e de outras ordens. A equação básica da química quântica, eq. de Schrodinger, é uma **equação diferencial parcial**. A vida do químico quântico, conforme a opinião dos docentes, resume-se em resolver esta equação para os diversos problemas possíveis.

De acordo com os docentes entrevistados, para a maioria dos problemas que eles enfrentam a única solução possível é a **numérica**. Qualquer complicação numa equação diferencial, que esteja modelando um fenômeno químico ou físico, torna-a impossível de ser resolvida por métodos que não sejam numéricos.

A **Estatística**, segundo os químicos docentes, é utilizada praticamente por todos os químicos, tanto durante a etapa de tratamento de resultados experimentais quanto à de coleta de dados. As técnicas de **Estatística** são cada vez mais solicitadas para a avaliação da qualidade dos dados obtidos experimentalmente e para o “desenho” de experimentos baseados nos modernos conceitos da Quimiometria³¹.

Além disso, segundo os docentes entrevistados, é cada vez mais freqüente o uso de métodos de otimização de experimentos em Química (simplex, análise fatorial, meta-análise, etc) e o de ajuste de curvas e regressão linear, para interpretação correta de resultados experimentais.

A **teoria dos grupos** é utilizada na Química Quântica e Estrutura da Matéria, segundo os químicos docentes entrevistados, para simplificar o tratamento e análise dos dados empregando as relações envolvendo representações irredutíveis de cada grupo. Também, os docentes manifestaram-se quanto à importância da **teoria dos grupos** nas operações de simetria. Os grupos de simetria permitem que se entenda, com relativa facilidade, os espectros de Infravermelho e Raman. A operação de simetria é um elemento do grupo de simetria e a classificação das moléculas em grupos

³¹ A **Quimiometria** é uma área que se refere à aplicação de métodos estatísticos e matemáticos, assim como aqueles baseados em lógica matemática, à problemas de origem química.

conhecidos permite a identificação dos modos de vibração dos átomos da molécula em estudo. Conhecendo-se a estrutura de uma molécula, pode-se encontrar uma tabela de caracteres e, trabalhando com o resultado, encontrar de volta a estrutura da molécula.

Em química quântica aparecem trabalhos com **operadores lineares e hermitianos**. A **ortogonalidade das funções** também está presente e, segundo os docentes, o seu uso simplifica muito os cálculos relacionados dentro do contexto da química quântica.

Através das manifestações dos químicos docentes, pude observar também, que dependendo da área de atuação dos químicos docentes, os conteúdos matemáticos apontados por eles, como importantes para a formação dos químicos, apresenta-se em maior ou menor quantidade. Para os docentes que atuam na área de Química Orgânica, por exemplo, os conceitos apontados por eles ou têm relação com os conteúdos matemáticos do ensino fundamental e médio, que alguns docentes consideram mais do que o necessário, ou com os conceitos de limite, derivada e integral.

Em contrapartida, os docentes que atuam junto à área de Físico-Química, necessitam muito mais conteúdos matemáticos, do que aqueles que fazem parte do programa das disciplinas da Matemática em um curso de Química, como é o caso de Álgebra Linear e Topologia.

Observa-se ainda existir, por parte de alguns docentes, uma preocupação maior com a qualidade de conteúdo matemático do que com a quantidade desse mesmo conteúdo, isto é, se o conteúdo matemático foi

compreendido pelo aluno, se auxiliou no desenvolvimento de seu raciocínio, da sua criatividade e do seu senso crítico e também se tem ligação com a realidade do químico.

Após a apresentação dos dados, referentes às opiniões dos químicos docentes, passo agora a descrever as manifestações dos profissionais químicos acerca da Matemática que eles utilizam no seu dia-a-dia.

6.2 Ensino de Matemática na profissão dos químicos – Algumas concepções dos profissionais químicos

Irei descrever aqui os pontos de vista dos químicos não-docentes quanto à relevância da Matemática para a atuação profissional do químico contemporâneo. É importante observar que, em relação aos profissionais químicos, o objetivo era saber quais os conceitos matemáticos utilizados por eles em sua prática diária. Contudo, alguns dos profissionais foram além, levantando alguns problemas em relação à formação matemática do profissional químico.

De acordo com os químicos não-docentes, os conceitos mais utilizados por eles, em suas atividades diárias, são aqueles relacionados com a Estatística. Apesar disso, as manifestações dos químicos mostram que vários outros conceitos matemáticos também estão presentes no seu dia-a-dia.

Os profissionais químicos entrevistados apresentaram os seguintes conceitos matemáticos, como úteis em suas atividades diárias, sem, contudo contextualizarem essa utilização: cálculo de porcentagens, pesos e

medidas; trigonometria; números complexos; regra de três; potência de 10 (operações); números fracionários (operações); sistemas lineares; equação de segundo grau; funções e gráficos cartesianos (leitura de gráficos); geometria plana e espacial; logaritmo (log e ln); funções logarítmicas e exponenciais; integral, cálculo de máximos e mínimos; cálculo de áreas e volumes; cálculo numérico; equações algébricas de ordens variadas e equações diferenciais.

O uso de **retas tangentes** e **derivadas** é apontado por alguns químicos como necessário na calibração de aparelhos e nas correções de curvas e desvios destes aparelhos. O entendimento do conceito de **derivada**, segundo outros, é imprescindível para algumas aplicações práticas, onde o que importa é determinar o ponto de inflexão de uma curva, acompanhar taxas de variação de alguns parâmetros ou nos cálculos de vazão e velocidade de fluxos. O conceito de **limite** é utilizado nas cartas de controle de peso líquido de um determinado produto, enquanto que a **lógica matemática** é, considerada por eles, bastante útil nas linguagens de programação.

Os profissionais participantes do estudo, que trabalham com tratamento de água, argumentam que diariamente são produzidos inúmeros dados - operacionais e de qualidade - em relação aos quais os profissionais utilizam **conceitos estatísticos** (análise multidimensional, estimadores, médias - ponderada, aritmética, geométrica - e modelos de distribuição) para realizar os tratamentos de dados com o objetivo de observar o dinamismo da Estação de Tratamento de Água e a tendência dos dados coletados (geralmente variáveis aleatórias). Por outro lado, observam que nas pesquisas realizadas por eles, utilizam **cálculos geométricos simples** para duas e/ou três dimensões.

Além disso, a **Estatística** é apontada pelos químicos como sendo importante para o levantamento de uma distribuição, o acompanhamento de processos, testes de hipóteses, no planejamento de experimentos, na validação de metodologias práticas (precisão, exatidão, repetibilidade, reprodutividade); nos modelos de discriminação de variáveis (para saber qual das variáveis afeta mais um determinado experimento ou uma mistura qualquer) e também para a determinação, desdobramento e manuseio de incertezas relacionadas as variáveis envolvidas num determinado processo.

Ainda, o conhecimento acerca de cálculo de médias, desvio padrão, curva de distribuição normal, regressão linear, propagação de erros, etc. é considerado necessário para determinar a precisão, exatidão, repetibilidade e reprodutibilidade de métodos de análises laboratoriais. Por vezes no trabalho de investigação, o químico precisa avaliar se uma série de resultados obtidos por um método ou equipamento de análise é estatisticamente concordante com outra série obtida por outro método ou outro equipamento, para as mesmas amostras.

Os conceitos estatísticos, citados pelos profissionais químicos, como importantes em suas atividades diárias são os seguintes: desvio padrão, desvio padrão relativo (percentual), curva normal, intervalo de confiança, análise de variância, análise multivariacional, regressão linear, teoria dos erros, médias (aritmética e ponderada), frequência máxima e mínima, interpolação, extrapolação, probabilidade, distribuições de probabilidade, estatística descritiva, teste de significância (teste t para médias, teste F para variâncias).

Além dos tópicos de Matemática e Estatística já citados anteriormente, como importantes para as atividades diárias de um químico não docente, um dos profissionais argumentou que alguns conhecimentos relacionados com **matemática financeira**, noções de economia e de mercado são imprescindíveis para os empreendedores (já que atualmente não existe mais emprego formal).

Em relação à **informática**, o uso do computador - basicamente relacionado com a **planilha eletrônica** - foi assinalado pelos profissionais químicos como extremamente útil para cálculos relacionados com a Estatística. Além da **planilha eletrônica**, os **programas estatísticos** existentes no mercado - não especificados por eles - foram apontados como sendo importantes para o trabalho do químico, principalmente quando este está relacionado com cálculos estatísticos. Em relação a isso, existe uma sugestão para que o químico aprenda a utilizá-los já durante o seu curso de graduação. **Linguagem de programação** de microcomputadores (visual Basic, por exemplo) foi também citado por um dos profissionais como importante para o seu trabalho diário.

Em relação aos problemas relacionados com a formação matemática dos químicos, um dos profissionais argumentou a respeito. O chefe do setor de química orgânica da Divisão de Química de um centro de pesquisas detectou a seguinte situação relativamente à formação do químico (pelo menos por parte dos profissionais mais antigos de química do setor): pouca habilidade com o manuseio de dados analíticos (isto é, cálculo de médias, desvio padrão, variância, etc.), ou seja, tudo o que tem há ver com a parte de tratamento de dados e planejamento de experimentos. Segundo ele, o químico precisa muito

de conceitos estatísticos em seu trabalho e o aluno já sai do curso de graduação com deficiência em relação à aprendizagem destes.

Outra deficiência e tendência futura, apontada por esse profissional, relaciona-se com a Quimiometria, que trata da utilização de recursos matemáticos aliados às determinações químicas. Segundo ele, existe uma linha de pesquisa neste assunto, há cerca de dois anos especificamente, para a técnica de infravermelho na região do próximo (NIR) e devido a essa deficiência de formação, detectada nos profissionais químicos, a empresa resolveu capacitar dois de seus profissionais a mestre nessa área.

Através da fala dos químicos não docentes, pude observar que a Matemática constitui-se como uma das ferramentas que o profissional químico utiliza em suas atividades diárias, caracterizando-se o seu valor utilitário para o trabalho. Ainda de acordo com as manifestações dos químicos não docentes, os conceitos estatísticos apresentam-se como as principais ferramentas matemáticas que são utilizadas no desenvolvimento de suas atividades profissionais, principalmente nos setores de atividades que necessitam do planejamento e da pesquisa. No entanto, ainda que em menor grau de importância, outros conceitos foram também apresentados como necessários, como por exemplo, trigonometria, equações algébricas, logaritmos, limites, derivadas, integrais, geometria analítica, geometria espacial.

Observa-se ainda haver, entre os químicos não docentes, opiniões diferenciadas quanto aos conceitos matemáticos utilizados por eles. Enquanto uns apontam apenas conceitos matemáticos básicos, outros já consideram vários conceitos de Cálculo Diferencial e Integral, aliados com os

de Estatística, como necessários no seu trabalho. Algumas das manifestações parecem mostrar ainda que existem problemas em relação à formação matemática dos químicos, no sentido de demonstrarem pouca habilidade com os conceitos estatísticos quando na sua prática.

Dessa forma, parece certo que a Matemática se apresenta para o profissional químico como uma ferramenta essencial no cotidiano do seu mundo do trabalho, quer seja através de conceitos matemáticos e estatísticos ou mesmo pela utilização do computador em suas atividades diárias.

Capítulo 7

Os Dados à Luz da Literatura

Depois de apresentar os dados, no capítulo anterior, considerando a questão central desse estudo - *buscar uma compreensão sobre o papel da Matemática na formação do químico contemporâneo* - nesse capítulo, retomo cada um dos temas levantados, analisando-os, agora à luz da literatura estudada levando em conta também minha experiência como docente responsável pelas disciplinas da área de Matemática e Estatística do Instituto de Química de Araraquara.

Os temas apresentados, e que serão agora analisados, referem-se às questões: *Por que ensinar Matemática num curso de Química? Como ensinar Matemática num curso de Química? Quem deve ensinar Matemática para os químicos e O que ensinar de Matemática num curso de Química?* Como já disse anteriormente, essas não são questões fáceis de serem respondidas e nem é intenção desse estudo respondê-las. O objetivo aqui é procurar ter uma idéia mais clara a respeito dessas questões e, a partir daí, estabelecer uma base sólida para compreender a Matemática na formação do químico contemporâneo.

7.1. As razões de se ensinar Matemática para os químicos.

A literatura estudada apresenta-nos inúmeras justificativas, para o ensino da Matemática, de uma maneira geral, utilizando argumentos do tipo: a Matemática é necessária à vida cotidiana e essencial em muitas atividades profissionais; a Matemática faz parte do patrimônio cultural da sociedade, sendo nossa obrigação transmiti-la às novas gerações; a Matemática “ensina a pensar”, tornando-nos mais aptos, por exemplo, para pensar de forma abstrata e para fazer raciocínios dedutivos; a Matemática é a linguagem essencial do desenvolvimento científico e tecnológico; a Matemática é importante para qualificar profissionalmente a mão de obra indispensável para atender às necessidades do mercado de trabalho, bem como às necessidades de funcionamento da sociedade atual; a Matemática é importante como ferramenta básica para o desempenho social do cidadão comum.

No entanto, nenhuma dessas justificativas pode ser considerada como suficiente. Na realidade, com a evolução tecnológica de hoje e com o desenvolvimento cada vez maior das calculadoras e dos computadores, a impressão que se tem é a de que, no dia a dia, necessitamos da Matemática cada vez menos. Além disso, reduzir a Matemática ao desenvolvimento de raciocínio lógico dedutivo, por exemplo, é empobrecê-la. Se atentarmos para o fato de que a idéia se intui e, portanto, é através da intuição que ocorrem as grandes criações do homem, a intuição, sim é uma poderosa capacidade mental.

No capítulo anterior vimos que, de acordo com os químicos docentes, o papel que a Matemática representa para a formação dos químicos contemporâneos está relacionado com o fato desta constituir uma maneira importante de pensar e uma linguagem de interpretação e intervenção sobre a realidade. Além disso, as finalidades atribuídas ao ensino da Matemática, pelos docentes, compreendem ainda: proporcionar aos químicos o conhecimento matemático necessário à compreensão de conceitos químicos e/ou físico-químicos, facilitar a análise de fenômenos e sistemas naturais, desenvolver conhecimentos e capacidades diretamente ligadas à atuação profissional e auxiliar os alunos na formulação e resolução de problemas do seu dia-a-dia. Acredito que o maior ou menor grau em que isso se processa depende, naturalmente, da maneira como a Matemática é ensinada.

A Matemática é reconhecida, pelos docentes, como uma linguagem que proporciona meios para a comunicação de idéias. Com relação a esse aspecto, da Matemática para a formação dos químicos, existe uma idéia bastante difundida, tanto entre alunos quanto docentes de que a maioria dos diplomados apenas irá utilizar, em seu trabalho, fórmulas descobertas e verificadas por outras pessoas. Assim, de acordo com esse ponto de vista, os alunos deveriam apenas ser capaz de ler a Matemática muito mais do que compreendê-la e saber aplicá-la, caracterizando a Matemática, como uma disciplina em serviço, como uma linguagem de comunicação.

Bacciotti e Boieri (1988) e Roubine (1988), corroboram essa idéia, argumentando que a matemática deveria ser fundamentalmente utilizada para que o profissional pudesse compreender a literatura profissional da sua

área e tivesse condições de discutir com os matemáticos que possa vir a consultar.

Roubine (1988) justifica tal entendimento, argumentando que os avanços tecnológicos têm sido muito rápidos, dificultando a escolha e os limites de um currículo específico e que seria impraticável ministrar todos os conteúdos matemáticos, indispensáveis para acompanhar tal desenvolvimento, num período de tempo tão curto de graduação.

A questão do tempo, durante a graduação, também é discutida quando se fala em reestruturação curricular. Hoje em dia, as orientações para a elaboração dos currículos do ensino superior, são no sentido de diminuir o tempo que o aluno fica na sala de aula, com a argumentação de que o estudante deve ser instigado a buscar o conhecimento por si só.

Com essa alegação, o aluno deve então ser estimulado a desenvolver atividades complementares à sua formação tais como: iniciação científica e tecnológica, programas de extensão universitária e de treinamento especial (PET), eventos científicos, visitas técnicas, atividades culturais, políticas e sociais,

Atualmente, o que se observa nas Instituições de Ensino Superior, de uma maneira geral, é que apenas alunos que possuem bolsas ou se dispõem a trabalhar como voluntários conseguem participar em projetos de pesquisa, sendo que essa participação nem sempre é agregada ao seu histórico escolar ou, se o for, isso é feito posteriormente. Além disso, a participação em atividades de extensão considerada, hoje em dia, como um dos elementos básicos da flexibilização dos currículos, é dificultada por obrigações

curriculares a tal ponto dos alunos terem que, na maioria das vezes, deixar de lado a extensão. Em contrapartida, existem muitos casos em que o aluno acaba por priorizar a extensão em detrimento de suas obrigações curriculares, prejudicando assim, de alguma maneira, sua formação acadêmica.

Ainda, de acordo com os docentes entrevistados, é atribuída uma maior ou menor importância à Matemática, dependendo da área de atuação do docente. Esse fato também é enfatizado por Howson et al (1988), em seu trabalho, aonde argumenta que é atribuída à Matemática, como disciplina em serviço no ensino superior, uma maior ou menor importância dependendo das disciplinas que fazem parte da grade curricular do curso no qual a Matemática está inserida.

Através das manifestações expressas pelos docentes entrevistados, parece claro também, que a falta de um conhecimento matemático adequado pode vir a acarretar problemas na aprendizagem dos conceitos químicos que necessitem da Matemática para sua compreensão, principalmente conceitos relacionados com as disciplinas da Físico-Química. Este argumento é um dos mais fortes apresentados a favor da Matemática, quando se questiona a respeito da sua importância num curso que não a tem como uma das disciplinas centrais do currículo.

No entanto, como docente em um Instituto de Química, o que tenho observado na prática é que mesmo os alunos que apresentam dificuldades em relação ao domínio de conceitos matemáticos, considerados como necessários para a compreensão de conceitos químicos, em sua grande maioria, são aprovados nestas disciplinas e, até mesmo, desenvolvem pesquisas na área, aparentemente sem grandes prejuízos. Aliás, tal fato constitui-se

como sólido argumento, junto aos alunos, para questionarem a importância do conhecimento matemático para o Curso de Química, impedindo-os de perceberem com clareza o papel que as disciplinas da Matemática desempenham em sua formação.

Fica então a impressão de que a Matemática nos cursos onde é ministrada, em sua grande maioria, tem apenas um papel a cumprir na grade curricular, sem nenhuma utilidade para a formação humana, cultural e técnica dos profissionais da área a qual ela está a serviço.

Levando em conta que a Físico-Química é a área da Química que é considerada como a mais "próxima" da Matemática, uma questão bastante pertinente aqui é *"porque não existe uma valorização da Matemática por parte dos alunos?"*, uma vez que, segundo a visão dos alunos, eles conseguem se formar sem saber Físico-Química e muito menos Matemática.

Acredito que o aluno vai sentir uma maior ou menor necessidade de alguma disciplina ou de algum conceito relacionado a uma determinada disciplina, na medida em que ele for cobrado a respeito disso. Podemos observar que a falta de cobrança está diretamente relacionada com a falta de integração entre as disciplinas, integração esta que deve ser feita pelos docentes e não pelos alunos.

Apesar de apenas um docente ter se manifestado acerca da falta de integração entre as disciplinas da Matemática e as demais disciplinas que fazem parte do currículo do curso de Química, o problema da integração entre as disciplinas é uma via de mão dupla e aparece como um dos grandes problemas relacionados com o ensino de Matemática para não-matemáticos,

principalmente em cursos onde não se tem muito claro qual é o papel da Matemática na formação do profissional, como é o caso da Química.

Em um curso de Física, por exemplo, parece não existir problemas relacionados com a valorização da Matemática pelos alunos e com a integração da Matemática com as demais disciplinas da grade curricular. Isso se deve, talvez, ao fato de que a compreensão da maioria dos conceitos e dos fenômenos físicos pressupõe um conhecimento básico de Matemática. Agora, um químico ou qualquer técnico de laboratório, consegue realizar, por exemplo, qualquer reação química, em um laboratório, sem a Matemática e sem a Físico-Química.

Importante abrir aqui um parêntese, para observar que os alunos não têm uma idéia clara acerca da diferença entre um químico com formação acadêmica e um técnico em química. No caso de uma reação química, por exemplo, o técnico pode, muitas vezes, não saber o que está fazendo, e muito menos como se processa e de que maneira ele poderia controlar, acelerar, melhorar ou piorar aquele processo ou alguma outra coisa relacionada a ele. Ou seja, ele não consegue manipular os parâmetros de uma forma a obter o que ele quer. Teoricamente, um aluno com formação acadêmica, deveria ser capaz de manipular esses parâmetros e tirar conclusões a partir deles.

Na realidade, os objetivos do ensino da Matemática, em qualquer nível de ensino, trazem consigo várias dimensões, entre as quais podemos destacar os aspectos formativo, utilitário, social e cultural. Cabe destacar aqui, que os valores formativo e utilitário da Matemática compreendem a capacidade de raciocinar matematicamente, relacionar

conceitos, usar definições, fazer demonstrações e resolver problemas, construir e aperfeiçoar modelos matemáticos. Inclui ainda, a capacidade de comunicar e interpretar idéias matemáticas expressas verbalmente e através da escrita.

O valor que se confere a cada um desses aspectos apresenta conseqüências na estruturação do currículo, no processo de aprendizagem e no papel social exercido pela Matemática. Assim, a importância que é atribuída à Matemática como disciplina em serviço está relacionada diretamente com a questão "*O que ensinar de Matemática?*", que é o tema da próxima seção.

7.2. Os conteúdos matemáticos importantes para a formação dos químicos.

Com relação à questão "*O que ensinar de Matemática para o químico contemporâneo?*", pude observar, através das manifestações dos químicos docentes, que existem opiniões muito diferentes a respeito. Dependendo da área de atuação do docente e, conseqüentemente, da importância que é atribuída por ele à Matemática, os conteúdos matemáticos, considerados como importantes para a formação do químico contemporâneo, apresentam-se em maior ou menor número e com maior ou menor profundidade.

O que se pode observar na prática, na elaboração de qualquer currículo de Matemática, de um curso superior, é que são vários os elementos que tomam parte nesse processo, uns de modo explícito, outros apenas implicitamente. Um elemento fundamental é, certamente, a própria Matemática. A leitura que se faz do que é ou não importante nesta ciência, para o curso ao qual está vinculada, tem (ou deveria ter) uma influência nos

assuntos que ganham preferência curricular e no tratamento que recebem. Contudo, parece que não é isso que tem acontecido na prática da elaboração de currículos. O processo de escolha de um determinado conteúdo, para fazer parte do currículo de um curso, tem se relacionado com a noção de poder, no sentido de que sempre está reproduzindo interesses do grupo que o elabora (Silva, 1999).

É importante salientar aqui que discriminar o que deve ou não ser ensinado, não se baseia apenas na listagem dos conteúdos que farão parte de uma determinada disciplina. Torna-se necessário explicitar, de maneira clara, como se dá o relacionamento entre os objetivos, os métodos e os conteúdos de cada uma das disciplinas que farão parte do currículo.

Infelizmente, quase sempre não é o que acontece na prática. A impressão que se tem é que os responsáveis pela organização curricular, de uma maneira geral, preocupam-se apenas em determinar quais os conteúdos e/ou disciplinas que serão incluídos ou excluídos na grade curricular, sem que sejam colocados os objetivos e os métodos relacionados a cada um deles e sem que se faça uma reflexão acerca da importância ou não daquela disciplina e/ou conteúdo no contexto do curso em que se insere.

De acordo com as manifestações dos docentes, a respeito do que é importante ensinar de Matemática para formar um químico, manifestações estas apoiadas pela literatura (Ahmed, 1988), uma das argumentações relaciona-se ao fato de que se deve destacar a parte da Matemática que depende da imaginação visual: descrição e interpretação de gráficos, reconhecimento de curvas, apreciação de modelos, visualização de movimento e de relações tridimensionais. Além disso, alguns docentes alegam

que, parte do que é ensinado deve estar relacionado a habilitar o estudante no domínio da linguagem do ensino.

A literatura destaca (Howson et al., 1988), e a minha prática corrobora, que o ensino em serviço não dá conta de prover os alunos com toda a Matemática que eles poderiam vir a precisar na sua vida acadêmica e profissional. Um dos argumentos, para justificar tal fato, é o tempo restrito disponível para o ensino da Matemática como disciplina em serviço nos currículos atuais.

Importante observar aqui que a tendência atual, de acordo com as orientações dos órgãos superiores e que consta nas diretrizes curriculares para os cursos de Química, em particular, é cada vez mais reduzir o tempo do aluno em sala de aula, acarretando com isso uma necessidade de diminuir a carga horária das disciplinas. O que se tem observado na prática, no que diz respeito à diminuição de carga horária, é que as disciplinas em serviço são as mais prejudicadas nesse sentido.

A questão da impossibilidade do ensino abranger toda a Matemática, que poderia ser utilizada na vida acadêmica e profissional dos alunos de um determinado curso, no tempo determinado para isso, traz consigo algumas reflexões que se fazem necessárias quanto à seleção dos conteúdos, seleção esta que está relacionada diretamente com a importância que é atribuída aos conteúdos matemáticos, no contexto da formação dos químicos.

Vimos anteriormente que, segundo as manifestações dos químicos - das quais eu compartilho - e a forma como ela se apresenta nos livros didáticos de Química, a Matemática é utilizada de maneiras diferentes,

pelo químico, quer seja na sua vida acadêmica ou profissional. Dependendo do contexto em que a Matemática se insere, ela se apresenta como uma ferramenta – conceitos e técnicas necessários à continuação dos estudos e/ou para a resolução de problemas concretos da vida profissional – e como uma linguagem simbólica e rigorosa necessária à interpretação e intervenção sobre a realidade e à comunicação de idéias científicas e/ou tecnológicas.

Considerando as perspectivas apresentadas anteriormente, a literatura (Howson et al, 1988) apresenta alguns princípios para a escolha dos conteúdos, de uma disciplina em serviço, que farão parte do currículo de um determinado curso. Importante destacar aqui, que qualquer reflexão que se faça acerca do que deve ou não ser ensinado, traz consigo questões a respeito de como e por que deve ser ensinado determinado conteúdo.

Levando isso em conta, podemos argumentar que, se, mais do que fazer uso da Matemática é a literatura da área que irá sustentar o desenvolvimento contínuo do aluno e/ou profissional, torna-se então necessário ensinar ao aluno como ler, consultar e utilizar referências. Dessa forma, os conteúdos matemáticos deverão estar relacionados a esta perspectiva da Matemática como disciplina em serviço. Nesse caso, a Matemática assume sua importante posição como um elemento da cultura e uma ciência dinâmica em permanente construção e desenvolvimento.

Agora, se o aluno e/ ou profissional necessitar utilizar conceitos, regras e técnicas algorítmicas e, além disso, tiver à sua disposição computadores e softwares, não haverá a necessidade de ensinar muitas técnicas e habilidades. Em contrapartida, tal fato requer uma necessidade de desenvolver, no aluno, outros conhecimentos e habilidades que lhe dê

condições para saber onde buscar ajuda, o que perguntar ao computador e como conduzir e dominar a máquina. Nesse caso, a Matemática assumirá seu papel como um modo de pensamento e um exercício mental. Os conteúdos matemáticos, nesse caso, deverão estar direcionados para esse fim.

A seguir, apresento a listagem dos conteúdos matemáticos, identificados nas respostas às entrevistas e aos questionários, já descritos anteriormente, considerados como importantes para a formação do químico contemporâneo, segundo a perspectiva dos químicos.

Conteúdos Matemáticos

- 1. Funções de uma variável**
- 2. Limites**
- 3. Derivada**
- 4. Integração**
- 5. Funções de Várias variáveis**
- 6. Derivada Parcial**
- 7. Cálculo Vetorial**
- 8. Séries**
- 9. Números Complexos**
- 10. Funções Ortogonais e Séries de Fourier**
- 11. Transformada de Fourier**
- 12. Transformada de Laplace**
- 13. Matrizes e Determinantes**
- 14. Equações Diferenciais**
- 15. Métodos Numéricos**
- 16. Estatística**

17. Álgebra Linear

18. Logaritmo

Importante traçar um paralelo aqui a respeito das opiniões dos químicos docentes e não-docentes quanto aos conteúdos matemáticos. Pude observar uma grande diferença entre a opinião dos químicos docentes e não-docentes, diferença esta relacionada à enormidade de conteúdos matemáticos considerados, pelos químicos docentes, como necessários para a formação do químico, comparada com aqueles que os profissionais químicos utilizam em sua prática diária. Isto se deve talvez ao fato dos químicos relacionarem os conteúdos matemáticos, que consideram importantes, tanto com a compreensão do contexto nos quais eles se inserem quanto com a sua prática diária relacionada com suas pesquisas.

Necessário também destacar que tanto a lista dos docentes quanto a dos químicos não-docentes, apresenta conteúdos matemáticos que, em algumas instituições de ensino superior de Química, nem ao menos fazem parte do currículo, como é o caso de Álgebra Linear e Funções Ortogonais, no caso dos químicos docentes, e Matemática Financeira no caso dos químicos não-docentes.

Como já dito anteriormente, a leitura que se faz do que é importante na Matemática, para o químico, deveria ter uma influência óbvia nos assuntos que ganham prioridade no currículo e no tratamento que recebem. Contudo, o que se pode observar na prática, quando se está a elaborar o currículo de Matemática de um curso superior para não-matemáticos, particularmente de um Curso de Química, é que, quase sempre, são os

docentes da área de Matemática que estabelecem as disciplinas e os conteúdos que farão parte destas, sem levar em conta a opinião dos especialistas acerca do que é ou não importante ensinar para a formação de um químico.

Considero mais importante do que os conteúdos, os métodos utilizados para colocá-los em prática, pois de nada serviria instituir currículos com matérias isoladas e teóricas, sem nenhuma aplicação no contexto do curso em questão. Levando isso em conta, os métodos e estratégias, para trabalhar com os conteúdos mencionados, de acordo com as opiniões dos químicos docentes, serão apresentados e analisados, de uma maneira geral e não especificamente, na seção posterior.

7.3. A maneira de se ensinar Matemática para os químicos

Com relação à maneira de ensinar Matemática para os químicos, os docentes manifestaram várias idéias acerca de como é que os tópicos matemáticos deveriam ser trabalhados com os alunos de um curso de Química.

No processo de reestruturação curricular de um curso, podemos observar que é dada uma importância muito grande para os conteúdos que farão parte de uma determinada disciplina do currículo, deixando de lado, na maioria das vezes, a forma de se trabalhar esses conteúdos. Os conteúdos são importantes como coluna mestra das diretrizes a serem seguidas, mas, não são, a meu ver, o único caminho e nem o principal. Talvez, posso ousar dizer que mais importante do que excluir ou incluir novos assuntos no currículo seja a maneira de abordá-los.

Através das manifestações dos químicos, parece evidente que é necessário modificar a maneira que os conteúdos matemáticos são trabalhados em sala de aula. Nesse sentido, os químicos apresentam várias idéias a respeito de como é que a Matemática deveria ser ensinada para os químicos.

Uma das argumentações de um dos docentes, diz respeito à necessidade de se substituir as variáveis freqüentemente utilizadas pelos matemáticos - x , y , z , r , s , t , u , v - por grandezas usuais em Química - P (pressão), V (volume), T (temperatura), n (número de mol), G (energia livre), H (entalpia), S (entropia), etc. Acredito ser esta uma alegação bastante pertinente, uma vez que a considero uma das grandes dificuldades que os alunos apresentam em relação à aprendizagem da Matemática em serviço. Pude constatar várias vezes, na minha prática como docente, a dificuldade da grande maioria dos alunos em resolver problemas (ou exercícios) com grandezas diferentes daquelas variáveis consideradas como usuais na Matemática, ou seja, x , y , z , r , s , t , u , v .

Interessante destacar aqui, a partir de minha experiência como docente, que, freqüentemente, muitos problemas que apresentam grandezas físicas e/ou químicas e que os alunos não conseguem apresentar uma solução, são facilmente resolvidos, após a troca de tais grandezas pelas variáveis usuais da Matemática.

Ainda, de acordo com as opiniões dos docentes, acerca de como é que a Matemática deva ser ensinada, é importante relacionar os conceitos matemáticos com aqueles que o aluno aprende na Química, através de

exercícios e exemplos contextualizados, para que o aproveitamento dos alunos seja maior e melhor.

O fato de ensinar os conceitos matemáticos, através de exemplos contextualizados na área relativa ao curso em questão, é enfatizado por alguns dos autores estudados como sendo uma das possíveis soluções para o problema de motivação para estudar Matemática e como forma de garantir a integração do conhecimento escolar com a realidade do aluno, facilitando assim o processo de aprendizagem.

Ensinar conceitos matemáticos, através de exemplos contextualizados na Química, não é tão simples. Posso citar aqui alguns problemas, detectados por mim, através da minha prática docente, e confirmados pela literatura estudada, relacionados a esse fato. O primeiro deles refere-se à dificuldade em se encontrar bons exemplos, ou porque são muito triviais ou porque precisam de conhecimentos específicos da área, que ainda não foram adquiridos pelos alunos. Esse problema gera um outro, referente à necessidade do professor de Matemática, muitas vezes, ser obrigado a ensinar ou recordar tópicos de uma determinada disciplina relacionada com a área na qual o exemplo esteja contextualizado.

Nesse caso, o professor deveria conhecer as disciplinas do curso, para o qual a matemática é ministrada e saber como a Matemática é utilizada nessas disciplinas, fato esse que, de uma maneira geral, raramente acontece. Simons (1988) corrobora esse fato, argumentando que isso talvez pudesse significar que a matemática devesse ser ensinada por docentes não-matemáticos. Este fato será discutido, com mais detalhes, na seção subsequente.

Concordo com Simons (1988) quando ele argumenta que o problema também existe do outro lado, ou seja, não é raro docentes de uma determinada disciplina desconhecerem os conteúdos das disciplinas da Matemática que utiliza. Além disso, muitos docentes, da área relativa ao curso em questão, não têm uma idéia clara sobre a Matemática que eles precisam. Acredito que uma maior integração entre os matemáticos e esses docentes torna-se necessária como uma tentativa de amenizar ou até mesmo solucionar tais problemas.

Ainda em relação ao emprego de exemplos contextualizados na área relativa ao curso em questão, Bressoud (1996) e Kleinfeld (1996) acreditam que apresentar aplicações, dos conteúdos matemáticos estudados, não responde aos questionamentos de alunos e docentes sobre a importância e a necessidade de se ensinar e aprender Matemática – referindo-se ao ensino de Cálculo.

Em contrapartida, Filho et al. (1999) e Soares et al. (1999) acreditam que a Matemática não se faz importante apenas pela sua aplicabilidade, mas também por isso, e defendem o uso de aplicações para que as aulas de Matemática se tornem mais interessantes e motivadoras.

Alguns dos textos oficiais apresentam a idéia de que através da interdisciplinaridade e da contextualização pode-se alcançar a integração. Considero esta uma idéia questionável, uma vez que é possível contextualizarmos sem que haja integração e interdisciplinaridade. Por exemplo, no caso do ensino de Matemática para químicos, é possível contextualizar derivada de uma função de uma variável, relacionando-a com as

reações químicas de primeira e segunda ordem, sem gerar uma integração com outras disciplinas como a Física e a Química.

Também é possível acontecer a interdisciplinaridade, sem contextualizar, a partir da experiência de articulação de áreas diferentes do conhecimento para analisar um determinado conceito ou conteúdo, sem que necessariamente se estabeleça uma ligação entre teoria e prática.

As diretrizes curriculares orientam as instituições de ensino superior de Química, no sentido de evitar a compartimentalização do conhecimento, buscando a integração entre os conteúdos de Química e correlações entre a Química e áreas afins, objetivando a interdisciplinaridade. O argumento utilizado aqui é o de que não se pode mais aceitar o ensino seccionado, departamentalizado, no qual disciplinas e professores se desconhecem entre si. Com relação à visão interdisciplinar apresentada para a Química, por exemplo, existe uma idéia de que os modelos, os conceitos, os princípios, os fenômenos e os processos não pertencem exclusivamente a uma ou outra disciplina, eles transitam por todas as disciplinas.

Por exemplo, os processos de evaporação, condensação, dissolução, emissão e recepção de radiação térmica e luminosa estão presentes na Biologia, na Física e na Química, através do ciclo da água e da fotossíntese, da poluição dos rios, do funcionamento de uma hidrelétrica, etc. Com relação à Matemática, ela possibilita a interpretação de fenômenos e de informações, a compreensão de modelos probabilísticos teóricos, no sentido de organizar, descrever, arranjar e interpretar resultados experimentais, inclusive com a ajuda de métodos computacionais, além de estabelecer relações entre grandezas.

Apesar da orientação das diretrizes curriculares no sentido de se procurar buscar a interdisciplinaridade, minha avaliação é a de que os esforços irão concentrar-se muito mais na contextualização uma vez que, buscar temas relacionados à realidade do aluno de um curso de Química associando os conteúdos matemáticos, será muito mais fácil, segundo a minha ótica, do que promover a interdisciplinaridade.

As diretrizes curriculares para os cursos de Química, enfatizam ainda, a necessidade dos alunos possuírem habilidade suficiente em Matemática para compreender conceitos de Química e de Física, bem como para desenvolver formalismos que agreguem fatos isolados e modelos quantitativos de previsão.

Importante destacar aqui que, apesar das diretrizes atentarem para esse fato, o que se observa na prática é que, talvez em virtude da forma como a Matemática é trabalhada em sala de aula e da falta de integração entre a Matemática e as demais disciplinas do currículo, existe uma insatisfação muito grande tanto por parte dos alunos quanto dos docentes, com relação ao seu ensino. Os alunos apresentam uma enorme dificuldade na compreensão dos conceitos matemáticos e, dificilmente conseguem utilizar o conhecimento matemático adquirido ou até mesmo as técnicas, em contextos diferentes daqueles trabalhados em sala de aula, fato esse também observado, pelos docentes, quando precisam utilizar a Matemática em suas disciplinas.

Uma tentativa para solucionar o problema da falta de integração entre a Matemática e as demais disciplinas do currículo e, conseqüentemente, os demais problemas decorrentes deste, talvez pudesse

ser, antes de começar cada semestre, em que a Matemática fosse ministrada, e uma vez a cada mês, durante o semestre, os docentes responsáveis pelas disciplinas reunir-se-iam para discutir sobre qual é a Matemática, quando e de que maneira ela é utilizada nessas disciplinas. Além disso, acredito que deveria haver uma maior preocupação por parte dos docentes das disciplinas específicas, em estar chamando a atenção para o por que de determinado conceito matemático estar inserido naquele contexto da Química ou Física, no momento em que ele se apresenta.

Portanto, acredito que, se os assuntos de Matemática pudessem ser ensinados, pelos matemáticos, com a ajuda dos químicos, no sentido de decidir o que ensinar, quando ensinar, quais exemplos apresentar, de que maneira ensinar, como estabelecer o método de ensino e assim por diante, muitos dos problemas relacionados a *por que ensinar, como ensinar, o que ensinar* e também à falta de integração entre as disciplinas específicas e a Matemática pudesse ser, senão resolvidos totalmente, pelo menos amenizados.

Além disso, não se deve esquecer que a integração da Matemática com as demais disciplinas do currículo de um curso de Química exigirá um maior tempo para o diálogo entre as disciplinas e uma pré-disposição, além de uma maior disponibilidade, dos docentes destas no sentido de discutir e preparar atividades integradas.

Um outro aspecto, relacionado com a maneira de se ensinar Matemática para os químicos, e que aparece na fala dos docentes, refere-se ao uso das novas tecnologias. A Matemática tem contribuído, de maneira decisiva, para o desenvolvimento dos computadores e das ciências da computação. Em contrapartida, a literatura tem mostrado que a Matemática é

também bastante influenciada pelas novas tecnologias, tanto no que diz respeito aos problemas que estabelece, quanto aos métodos que emprega na sua investigação. Esta relação entre a Matemática e as novas tecnologias, que acontece nos dois sentidos, vem também reforçar a idéia da importância da utilização destas no ensino e na aprendizagem.

Alguns dos docentes entrevistados mostraram-se bastante favoráveis quanto à necessidade de se utilizar o computador no processo de ensino e na aprendizagem e, além disso, reconhecem a necessidade de um ensino mais voltado para o uso e não para a programação, quer seja para a resolução de problemas da área quanto para a elaboração de gráficos. Um dos docentes argumenta ainda que o ideal seria que os alunos tivessem conhecimento de alguns poucos conceitos e pudessem utilizar o computador para fazer os cálculos mais complicados.

Levy (1988) sugere que os cientistas cada vez mais necessitam estar familiarizados com o uso dos computadores para propósitos tais como: representar graficamente, processar e transformar dados experimentais, investigar modelos matemáticos, preparar relatórios, documentos e apresentações para comunicações orais e/ou escritas. O uso do computador, na ciência experimental, inclui ainda aquisição de dados, controle experimental, redução de dados primários e apoio computacional aos resultados experimentais. Para os cientistas teóricos, o computador é o veículo de aquisição, processamento e análise de dados. Eles também utilizam o computador para desenvolver novas idéias fundamentais. Particularmente na Química moderna, o impacto do computador é profundo e afeta virtualmente todos os aspectos dos estudos experimentais e teóricos.

Existem vários documentos (Diretrizes Curriculares, PCN, PCNEM, ICMI, LDB, NCTM, etc.), e a literatura apresenta inúmeros artigos e estudos, que destacam a importância e a relevância da utilização da calculadora e do computador na Educação Matemática, nos diversos níveis de ensino. Atualmente, pretende-se que os alunos tomem parte em numerosas e diferentes experiências que estimulem o gosto e o prazer da criação matemática, que os encorajem a explorar e a aprender com os erros e a desenvolver um raciocínio próprio.

Nesse sentido, devido às suas potencialidades de visualização, cálculos, modelagem e criação de micromundos, o computador tem se mostrado uma excelente ferramenta, que os educadores matemáticos têm à sua disposição, para proporcionar experiências desse tipo aos seus alunos. Já em 1988, Howson et al. alertavam para a necessidade de se refletir acerca do impacto dos computadores no ensino da Matemática, sobre as novas possibilidades oferecidas por eles e sobre as alterações indispensáveis motivadas por sua introdução – alterações no conteúdo curricular e também nas qualidades desejáveis para serem desenvolvidas nos estudantes.

Simons (1988), também faz um alerta em seu trabalho, sobre a necessidade de reconsiderar o conteúdo das disciplinas em serviço, devido ao crescente aumento da utilização dos computadores nas academias, e de saber que assuntos deveriam ser trabalhados de maneira diferente em virtude da utilização do computador.

Com a utilização do computador no ensino, várias áreas da Matemática, já estudadas antes, mas postas de lado, devido às dificuldades em se trabalhar com elas, estão sendo reconsideradas nos currículos atuais. O estudo das funções não-lineares, por exemplo, pelos antigos métodos analíticos é extremamente difícil, e o mesmo foi deixado de lado, nos currículos de Matemática do ensino superior, durante muito tempo, principalmente quando relacionado com a Matemática em serviço. Contudo, pela facilidade com que o computador trabalha com equações lineares e não-lineares, na realização de cálculos numéricos e representações gráficas, ele tem sido bastante utilizado, hoje em dia, no estudo de funções não-lineares, que são fundamentais para descrever, por exemplo, muitos fenômenos em Termodinâmica e Mecânica dos Fluidos.

Grande parte das aplicações da Matemática à Engenharia e às Ciências como a Física, a Química e a Biologia estão relacionadas com o estudo das equações diferenciais ou sistemas de equações diferenciais. Na grande maioria dos casos chega-se a um ponto em que não é possível resolver estas equações ou sistemas de equações, de maneira exata, sendo necessário a utilização de métodos numéricos. Existem métodos numéricos que foram desenvolvidos para resolver inúmeros problemas - cálculo de integrais e de zeros de funções, resolução de equações diferenciais, etc - mas que tinham uma reduzida utilização prática devido ao grande volume de cálculos envolvidos.

O estudo de fatos como esses foi evitado, durante muito tempo, devido à dificuldade de se trabalhar com eles analiticamente. A importância do computador na resolução de problemas dessa natureza é mais

do que claro. Também, o estudo da teoria das matrizes, de métodos iterativos e o desenvolvimento de certas áreas tais como a lógica, foram retomados com a possibilidade de se utilizar o computador para os cálculos mais trabalhosos. Dessa forma, as novas tecnologias permitem então reconsiderar os tratamentos dados, tradicionalmente, aos conteúdos matemáticos bem como possibilitam a inclusão, nos currículos atuais, de assuntos que anteriormente não eram estudados.

Além da questão relativa à necessidade de alteração curricular, a introdução das novas tecnologias na sala de aula vem trazer outras implicações, como por exemplo, questões relativas a novas dinâmicas exigidas em sala de aula, reflexões sobre o novo papel do professor (Borba, 1999a), sobre os objetivos do ensino da Matemática e sobre a avaliação.

Um dos docentes entrevistados argumenta também ser fundamental, além de saber utilizar os programas, ter conhecimento matemático suficiente para saber o que está sendo feito, até para que se possa explorar melhor os recursos desses programas. Levando isso em conta e observando de perto um aluno, usuário do computador em suas atividades, pode-se notar que ele consegue manipular os programas e obter os resultados, sem grandes problemas. Particularmente em relação a programas que pressupõem a compreensão de conceitos matemáticos para sua utilização como, por exemplo, os programas gráficos, observamos que, mesmo aqueles que apresentam problemas relacionados com a aprendizagem da Matemática, conseguem manipular tais programas com uma destreza que chega muitas vezes a surpreender.

Tal fato, no mínimo, pode causar uma certa estranheza, pois à primeira vista parece que a compreensão e a utilização dos recursos fornecidos por programas dessa natureza, pressupõe a compreensão de conceitos matemáticos. Isso vem mostrar um outro aspecto da relevância da Matemática para os químicos, agora sob o ponto de vista da tecnologia.

Em relação a esse fato, Bizelli e Borba (2000) discutem a necessidade de um conhecimento matemático para trabalhar com programas que pressupõem a compreensão de conceitos matemáticos para sua utilização, como por exemplo, os programas gráficos. Nesse artigo, os autores procuram mostrar que a utilização de um programa gráfico, como apoio tecnológico, poderá ser feita com maior eficiência e com a certeza de melhores resultados se o usuário do programa possuir um conhecimento matemático adequado. Mas também argumentam que existe aprendizagem quando se utiliza o programa gráfico.

Importante abrir um parêntese aqui para observar que, quando se discute acerca da utilização do computador no ensino e aprendizagem da Matemática, é comum haver uma valorização muito grande das tecnologias, o que faz com que se deixe de lado aspectos importantes como a capacitação dos professores e a necessidade de mudanças na organização escolar, fatores fundamentais para que o uso dessas tecnologias possam vir a dar certo.

Os docentes entrevistados argumentam ainda, em relação à maneira que se deve ensinar Matemática, que o conhecimento matemático, para a formação do químico, não precisa ser muito aprofundado, mas apenas o

suficiente para resolver os problemas da área na qual ele se insere. Segundo esses docentes, em geral, o conhecimento de Cálculo necessário é bastante superficial, a não ser para aqueles alunos que gostariam de se dedicar à química teórica e, portanto, necessitam de um conhecimento mais aprofundado. Mesmo assim, o aluno poderá aprofundar-se nos cursos de pós-graduação, se isso realmente for necessário – referindo-se ao curso de Bacharelado em Química, ou seja, um químico com formação para a pós-graduação.

Já para um aluno de licenciatura, que tem como meta ser professor do ensino médio, segundo um dos químicos docentes, não existe necessidade de ir tão a fundo no estudo da Matemática.

Concordo com Ahmed (1988), quando ele argumenta que o sucesso de qualquer programa de matemática em serviço depende de como ensinar disciplinas em serviço. Contudo, a experiência tem mostrado que qualquer resposta à questão “como ensinar?” tem sido sempre insuficiente em algum sentido.

Através das seções anteriores, pudemos observar que as questões “*Por que ensinar?*”, “*O que ensinar?*” e “*Como ensinar?*” caminham juntas, sempre que se discute acerca do ensino e aprendizagem de uma disciplina qualquer. Além dessas, uma outra questão que se destacou, nas manifestações dos químicos docentes, refere-se a quem deve ensinar Matemática para não-matemáticos, questão esta que será discutida, com maiores detalhes, na próxima seção.

7.4. Quem deve ensinar Matemática para os químicos.

Cabe destacar aqui, uma vez mais, que até o momento da elaboração desse estudo, não havia de minha parte, e posso até ousar dizer nem da parte de meus colegas de profissão, no Instituto de Química da UNESP de Araraquara, um questionamento sobre quem deveria ministrar as disciplinas de Matemática em cursos para não-matemáticos. Tal questionamento surgiu, num primeiro momento, na fala de um dos docentes entrevistados e depois na literatura estudada a respeito.

Com relação a esse fato, um dos químicos docentes entrevistados argumenta que um professor de química poderia ensinar Matemática para os químicos sem grandes problemas. Como justificativa para esta argumentação, ele alega que existem livros texto excelentes com capítulos matemáticos, e que o estudo de disciplinas, que pressupõe um conhecimento matemático, acompanhado paralelamente por um tratamento matemático dos assuntos relevantes seria a melhor forma de ensinar um aluno de química. Uma outra argumentação, a respeito, é que o ensino de alguns assuntos de Matemática, tais como a teoria de grupos, deveriam ficar a cargo dos químicos docentes.

Sobre a questão "*Quem deve ensinar matemática para não-matemáticos*" a literatura apresenta dois pontos de vista diferente. Alguns pesquisadores argumentam que, mesmo se uma determinada disciplina precisar apenas de uma certa familiaridade com as ferramentas matemáticas, o ensino da Matemática deve ficar a cargo dos matemáticos, uma vez que eles possuem o background matemático necessário para explicar as técnicas matemáticas e

um vasto conhecimento para saber quais técnicas podem ser aplicadas em situações particulares.

Já outros pesquisadores (Howson et al., 1988 e Doggett, 1997), argumentam que os docentes das disciplinas específicas é quem deveriam ensinar os conceitos matemáticos que eles iriam utilizar. Eles justificam essa idéia com argumentos do seguinte tipo: o tempo disponível para o ensino da matemática é muito limitado; os docentes das disciplinas específicas estão mais conscientes das necessidades inerentes a estas; coerência em ensinar, motivação dos estudantes, uso uniforme da linguagem e simbolismo e introdução de idéias matemáticas sincronizada com suas aplicações.

Com relação a essa última argumentação - introdução de idéias matemáticas sincronizadas com suas aplicações - gostaria de abrir aqui um parêntese para observar que, segundo a minha ótica, este é um dos grandes problemas relacionados com a matemática em serviço. Acredito que a disciplina que trata dos assuntos: funções de uma variável, derivada e integral, ministrada no primeiro semestre dos Cursos de Química, seja a que apresenta esse problema mais intensamente. Nesses quinze anos de trabalho em um Instituto de Química, atuando como uma das docentes responsáveis pelas disciplinas de matemática em serviço, foram inúmeras as tentativas no sentido de buscar uma solução para tal problema e, devo confessar, sem obter muito êxito nessa empreitada.

Uma idéia, que surgiu a partir da elaboração desse estudo, e que talvez pudesse vir a ser, pelo menos, uma tentativa para amenizar essa situação, seria procurar dar uma visão geral sobre tudo o que seria estudado e

dos objetivos gerais da disciplina, bgo nas primeiras aulas e, posteriormente, cada um dos assuntos abordados seriam trabalhados com maiores detalhes e com maior aprofundamento.

Apesar do meu conhecimento acerca da existência de muitos profissionais que ministram aulas de Matemática sem estarem formados nessa área, como é o caso de engenheiros e físicos, apenas para citar alguns exemplos, refletir sobre a questão quem deve ensinar Matemática para não-matemáticos, particularmente para os químicos, está sendo uma coisa nova para mim. Apesar desse estudo contribuir, de uma maneira decisiva, para que eu tenha uma opinião mais consistente a respeito desse fato, sinto que apenas ele não será suficiente. O que está claro para mim, hoje, é que alguns conteúdos matemáticos poderiam ser trabalhados pelos químicos docentes, no contexto em que se apresentam, até mesmo pelo fato do pouco tempo disponível, na grade curricular, para as disciplinas da Matemática.

Essa não é uma questão fácil e, após essa análise, acredito serem necessárias maiores discussões a respeito, agora juntamente com meus colegas matemáticos e químicos, para que juntos possamos refletir com maior propriedade acerca de quem deve ensinar Matemática para os químicos, ou melhor, quais conteúdos matemáticos podem ou não ser ensinados pelos químicos e em que contexto. Mesmo pensando dessa forma, no próximo capítulo procuro apresentar algumas sugestões, levando em conta a análise dos dados aqui apresentada.

Após as reflexões feitas até aqui, não se pode esquecer que, aliado às questões por que ensinar, o que ensinar e como ensinar determinado assunto é necessário ainda decidir o quanto ensinar, como ordenar os assuntos

tratados, de que maneira utilizar as atividades práticas e como proceder a uma avaliação justa e rigorosa do que foi aprendido.

Baseando-me em tudo o que foi discutido até aqui, no próximo capítulo apresento algumas conclusões e minhas considerações finais acerca do estudo em questão.

Capítulo 8

Considerações Finais

Depois de elaborada a análise dos dados, à luz da literatura estudada e levando em conta minha experiência como docente de Matemática em um Instituto de Química, recolo a questão central desse estudo que se caracteriza como *a busca de uma compreensão da Matemática na formação do químico contemporâneo*, a partir do ponto de vista dos químicos docentes e não docentes. Os resultados deste estudo mostram a existência de algumas relações que se estabelecem entre as opiniões dos químicos, sujeitos da pesquisa, sobre o papel da Matemática para a formação do químico contemporâneo, e as suas implicações sobre a prática referente às atividades acadêmicas.

Levando isso em conta, acredito ter alcançado uma melhor e mais consistente compreensão sobre o papel da Matemática na formação do químico contemporâneo, na medida em que outras questões puderam ser discutidas e esclarecidas, questões estas relacionadas com o por que ensinar, o que ensinar e como ensinar Matemática para os químicos.

Examinando de maneira crítica o estudo realizado e seus resultados, baseando-me em tudo o que foi discutido e apresentado nos capítulos anteriores, passo agora a expor algumas conclusões, acerca da Matemática na formação do químico contemporâneo, bem como procuro assinalar algumas implicações que este estudo poderá vir a apresentar na minha prática docente como também em pesquisas futuras.

Posso salientar alguns aspectos, que se destacaram na análise dos dados, a partir do ponto de vista dos químicos docentes e sustentada pela literatura, os quais passo a enunciar, que são os seguintes: *o papel da Matemática na formação dos químicos; a maneira de se ensinar Matemática para os químicos; o que ensinar de Matemática para os químicos e quem deve ensinar Matemática para os químicos*. Um outro aspecto que também se sobressaiu, a partir da análise dos dados, e que está relacionado com a maneira de se ensinar Matemática para os químicos, refere-se à *relevância da utilização do computador no processo de ensino e aprendizagem*.

Como pudemos ver, através da literatura estudada, os currículos atuais, de uma maneira geral, estão constituídos de um modo que o fundamental não é fazer o aluno pensar, privilegiando excessivamente o conteúdo das disciplinas. Além disso, os conteúdos são trabalhados de uma forma estanque, ficando para o aluno a parte mais difícil, ou seja, fazer a síntese, a união, a transferência e a contextualização dos conteúdos que lhe foram passados.

Ao entendermos currículo como o *conjunto de experiências de aprendizado que o aluno incorpora durante o seu processo de formação profissional, visando seu desenvolvimento*, desenvolvimento este que requer a apropriação de conhecimentos e de capacidades em função das necessidades do educando e de sua preparação para a participação responsável na sociedade, deve-se pensar em currículo não apenas como disciplinas e conteúdos, mas também é preciso considerar os objetivos e os métodos que serão utilizados para o desenvolvimento destes.

A partir das idéias discutidas nos capítulos 2, 3 e 4, pode constatar que qualquer estudo que se relaciona de alguma maneira com uma proposta curricular, deve considerar que, ao definir, identificar ou escolher os objetivos do ensino de uma determinada disciplina, deve ser levado em conta aspectos como: características da realidade com a qual o químico irá lidar, o perfil desejado do químico e o conhecimento disponível na área em questão.

Além disso, as mudanças nas necessidades de uma determinada disciplina, pela Matemática, em virtude das transformações científicas e tecnológicas contemporâneas e o crescente aumento da disponibilidade de computadores e softwares cada vez mais poderosos, têm acarretado a necessidade freqüente de se ponderar acerca das questões de por que ensinar determinados tópicos e de que maneira ensiná-los.

Levando isso em conta, passo agora a retomar alguns pontos que considero extremamente importantes para o ensino de Matemática para a formação do químico contemporâneo, e para o ensino superior de uma maneira

geral, dentro da proposta deste estudo, de ressaltar alguns assuntos, sem a pretensão de esgotá-los.

De acordo com o ponto de vista dos químicos docentes, apresentado no capítulo 6, relacionado à questão "*Como você vê a importância da Matemática para a formação dos químicos?*", ponto de vista este de que eu compartilho, o papel representado pela Matemática, nas diversas Instituições de Ensino Superior, para a formação dos químicos, está associado fundamentalmente a seu caráter *utilitário* e *formativo*.

O valor *utilitário* apresenta a Matemática como instrumento para a vida, para o trabalho e para outras ciências, manifestando-se na matematização de situações reais observadas e através da construção de modelos para interpretá-las. Já o valor *formativo* da Matemática compreende a capacidade de raciocinar matematicamente, relacionar conceitos, usar definições, fazer demonstrações e resolver problemas, construir e aperfeiçoar modelos matemáticos. Inclui ainda, a capacidade de comunicar e interpretar idéias matemáticas expressas verbalmente e através da escrita.

Mais especificamente, vimos que, de acordo com os químicos docentes, o papel que a Matemática representa para a formação dos químicos contemporâneos está relacionado com o fato de esta constituir uma maneira importante de pensar e uma linguagem de interpretação e intervenção sobre a realidade. Além disso, as finalidades atribuídas ao ensino da Matemática, pelos químicos docentes, compreendem ainda: proporcionar aos químicos o conhecimento matemático necessário à compreensão de conceitos químicos e/ou físico-químicos, facilitar a análise de fenômenos e sistemas naturais, desenvolver conhecimentos e capacidades diretamente ligadas à atuação

acadêmica e profissional e auxiliar os alunos na formulação e resolução de problemas do seu dia-a-dia.

A diferença de opiniões, sobre o papel da Matemática na Química pôde ser detectada nas entrevistas, discutidas no capítulo 6, mostrando também como que as posições de Comte e Gay-Lussac, apresentadas no capítulo 2, ainda hoje têm reflexos contemporâneos.

Na realidade, os objetivos do ensino da Matemática, em qualquer nível de ensino, trazem consigo várias dimensões, entre as quais podemos destacar os aspectos utilitário, formativo, social e cultural. O valor que se atribui a cada um desses aspectos, apresenta conseqüências na estruturação do currículo, no processo de aprendizagem e no papel social exercido pela Matemática.

A flexibilização³² das atuais grades curriculares, discutida no capítulo 2, muitas vezes associada, erroneamente, apenas com o rompimento do esquema rígido de pré-requisitos, característica da maioria dos cursos superiores, tem sido encarada como uma possibilidade para melhorar os currículos atuais. Com relação a esse fato, pode constatar que quando se fala em formar indivíduos mais capacitados e flexíveis - uma das demandas das diretrizes curriculares para os cursos de Química, se quisermos particularizá-las - existe uma supervalorização das tecnologias, deixando de lado reflexões acerca da capacitação dos docentes para trabalhar com estas e a necessidade

³² Alteração no sistema de pré-requisitos, redução do número de disciplinas obrigatórias e ampliação do leque de possibilidades, a partir do projeto pedagógico da instituição, que deverá, necessariamente, assentar-se sobre conceitos de "matéria" e "interdisciplinaridade" onde o currículo deve compreender um conjunto diferenciado, e ao mesmo tempo articulado, de experiências de aprendizagem, dentre as quais a disciplina é uma delas, mas não a única.

de mudanças na organização escolar, condições imprescindíveis para que a utilização das tecnologias em sala de aula possa acontecer de maneira mais adequada e com maiores chances de atingir seus objetivos.

Além disso, as pessoas, envolvidas na organização escolar, no que diz respeito, por exemplo, à elaboração dos currículos, nem sempre dão conta de ver as necessidades impostas pelo momento, uma vez que estão embebidas pela sua maneira de ver as coisas. Acredito que o currículo deve ser elaborado no sentido de preparar o indivíduo para que ele possa criar sobre a aprendizagem, desenvolver suas próprias idéias, ter capacidade de analisar e, conseqüentemente, para saber onde buscar suas respostas e, principalmente, para resumir as idéias desenvolvidas por ele.

Na estrutura curricular em vigor atualmente na maioria das instituições de ensino superior pode-se observar que os alunos dificilmente conseguem enxergar o caminho que estão a percorrer durante a sua formação. Como já foi comentado anteriormente, com muita freqüência os alunos tecem perguntas acerca do por que aprender esta ou aquela disciplina, ficando a impressão que eles não conseguem enxergar e muito menos determinar qual é a sua importância ou a utilização desta na sua formação.

Não se pode esquecer que, no processo de análise do que deve ser ensinado, identifica-se o objetivo de se ensinar determinado conteúdo, considerando as necessidades contemporâneas, objetivo esse que está relacionado também com as habilidades (capacitações, competências cognitivas, comportamentos) a desenvolver no aluno e não apenas aos conteúdos programáticos. Levando isso em conta, quando o aluno questionar

acerca de *"onde vou utilizar esse conteúdo?"* é fundamental que se argumente que talvez um conteúdo dessa natureza pode ser que realmente não será utilizado. Contudo, as competências, aptidões, modos de pensar e de constituir relações, desenvolvidas por esse conteúdo, poderão vir a ser úteis e, nesse sentido, empregadas em vários contextos diferentes.

Considerando a falta de comunicação que existe entre as disciplinas, apresentada na fala de um dos docentes entrevistados e nas diretrizes curriculares para os cursos de Química, levando em conta as reflexões proporcionadas por este estudo, o que falta é proporcionar ao aluno uma visão global do curso, logo no início, no que diz respeito tanto à importância de cada uma das disciplinas no contexto do mesmo quanto à maneira que cada uma destas integram-se as demais, evitando assim questionamentos e respostas do tipo *"na disciplina tal você vai aprender isso"* ou *"mais na frente você vai entender"*, bem como possibilitando ao aluno uma visão de conjunto. Necessário abrir aqui um parêntese para destacar que são coisas como essa que têm garantido, até hoje, tanto o feudo de cada docente sobre um assunto qualquer quanto o poder do currículo ou sua prática segmentada.

Dessa forma, no que diz respeito à valorização da Matemática como disciplina em serviço e, conseqüentemente, sua influência na possível melhoria da sua aprendizagem, uma solução pudesse ser os matemáticos, juntamente com os químicos docentes e graduandos, analisarem e discutirem questões como: a natureza e o papel da Matemática como disciplina básica, em serviço, em um curso de Química; os objetivos do seu

ensino; os conteúdos matemáticos importantes para a formação do químico e o planejamento e o desenvolvimento de metodologias e estratégias didáticas.

Concordo também, com a idéia apresentada pelos químicos docentes no capítulo 6, com as diretrizes curriculares para os cursos de Química e com a literatura estudada (Doggett,1997), de que a possibilidade de um trabalho integrado (interdisciplinar) e contextualizado, para os conhecimentos de Matemática, com as demais áreas do Curso de Química, pudesse vir a ser uma alternativa para melhorar o ensino e a aprendizagem da Matemática para os químicos, como também uma possibilidade de motivação dos alunos para com o estudo da Matemática. Não se deveria trabalhar de modo que cada uma das disciplinas que fazem parte da grade curricular não tenha relação com as outras. A estrutura departamental precisaria mudar, de maneira que os docentes, que fazem parte de um determinado departamento e/ou de departamentos afins, estejam em contato com o curso como um todo e, além disso, façam do processo de discutir com seus pares, acerca do ensino e de tudo aquilo que se relaciona com ele, uma prática freqüente. Ou seja, são necessárias mudanças na estrutura da Universidade para que as mudanças, propostas nesta pesquisa, possam ser implementadas de forma plena.

Considerando as discussões geradas por este estudo e minha experiência como docente responsável pelas disciplinas de Matemática em serviço em um curso para não-matemáticos, uma sugestão, para pelo menos minimizar o problema da falta de integração entre as disciplinas, é que antes de iniciar o semestre e pelo menos uma vez por mês, os matemáticos poderiam reunir-se com os químicos e físicos para discutir sobre qual é a Matemática, quando e de que maneira ela é utilizada nas disciplinas que pressupõem um

conhecimento matemático para o seu desenvolvimento e que exemplos, contextualizados na Química e/ou Física, poderiam ser utilizados pelos matemáticos no desenvolvimento das idéias matemáticas.

Além disso, deveria haver uma preocupação maior, por parte dos docentes das disciplinas específicas do curso, em estar chamando a atenção dos alunos para o por que de determinado conceito matemático estar inserido naquele contexto da Química e/ou Física, no momento em que ele se apresenta.

Contudo, num primeiro momento, mesmo acreditando ser possível um trabalho dessa natureza, ousar dizer que os esforços irão concentrar-se apenas na contextualização, uma vez que promover a integração, objetivando uma produção coletiva na construção do ensino, pressupõe um tempo maior para o diálogo entre as disciplinas, uma pré-disposição dos docentes das diversas áreas para a preparação de atividades integradas, bem como a formação diferenciada dos docentes, condições estas que, com certeza, irão produzir tensões e desavenças na estrutura, na maioria dos casos rígida e inflexível, do contexto do ensino superior.

Nesse sentido, as propostas interdisciplinares que já existem em vigor parecem apresentar alguns limites, entre os quais destaca-se a própria formação dos docentes que precisam superar barreiras conceituais para compreender a relação de sua própria especialidade com as demais áreas do conhecimento, impedindo assim que tais propostas possam se realizar a contento.

Muito já foi dito e escrito sobre as possibilidades do trabalho interdisciplinar, falando-se inclusive em várias outras perspectivas, tais como a multidisciplinaridade e a transdisciplinaridade. No entanto, deixo aqui a seguinte questão: a proposta interdisciplinar realmente dá conta de superar a histórica compartimentalização do conhecimento? Penso, que esta é uma questão muito complexa que pode vir a ser um tema para um possível estudo que permita chegar-se a conclusões de maior legitimidade.

Ainda no contexto da reestruturação curricular, a partir das discussões teóricas, apresentadas no capítulo 4, e das opiniões de alguns dos químicos docentes, apresentadas no capítulo 6, não existe um método infalível para como ensinar, particularmente como ensinar Matemática para a formação de um químico. O que pude destacar foram algumas sugestões que podem e devem ser consideradas, mas apenas lembrando que elas não devem ser consideradas como as únicas e nem as melhores possibilidades de ações nesse sentido.

No que diz respeito ao modo como a Matemática deve ser ensinada para os químicos, concordo com as idéias apresentadas pelos químicos docentes, no capítulo 6, de que os conceitos devam ser priorizados procurando evitar gastar muito tempo com cálculos muito trabalhosos. Nesse sentido, o computador pode e deve ser utilizado tanto para efetuar cálculos com rapidez e eficiência, como também para ensinar a ser crítico e não se limitar a executar procedimentos, para introduzir conceitos, visualizar gráficos em duas ou três dimensões, resolver problemas ou trabalhar com propriedades.

Considerando minha experiência profissional e a manifestação de um dos químicos docentes, apresentada no capítulo 6,

acredito que se pode obter um melhor rendimento do aluno, com relação à aprendizagem dos conteúdos matemáticos, reduzindo-se a quantidade de informação a ser memorizada, concentrando-se o currículo na transferência dos conceitos básicos adquiridos para situações diferentes e na prática das habilidades necessárias ao químico, descritas no perfil do profissional (Franchi, 2002). De uma maneira geral, o aluno estuda muita coisa que pouco será utilizada e, além disso, elabora trabalhos que contribuem muito pouco para o seu desenvolvimento.

Ainda com relação à maneira de se ensinar Matemática, considerando minha prática como docente e as discussões geradas através deste estudo, entendo que se devam ressaltar os aspectos mais conceituais das disciplinas, encarando as técnicas e os algoritmos matemáticos apenas como ferramentas necessárias para a resolução de problemas e não como objetivos principais da aprendizagem. Além disso, alguns conteúdos matemáticos, podem e devem ser trabalhados de maneira indireta, sempre que isso seja necessário e possível, como é o caso de limite e continuidade de funções de uma e várias variáveis, assíntotas e seqüência, apenas para citar alguns.

Um dos docentes entrevistados argumenta sobre a necessidade de se demonstrar resultados matemáticos. Com relação a este fato, a literatura estudada (Howson et al., 1988) argumenta que algumas vezes pode-se substituir a demonstração (muito longa e pouco esclarecedora) por outros argumentos. Minha prática docente além de corroborar essa idéia, tem mostrado que a melhor prova que você pode apresentar para alguém, sobre um determinado assunto, principalmente no contexto da Matemática em serviço, é

convencer o observador de que o fato é real através de outros resultados já estabelecidos como verdadeiros. Nesse sentido, boas ilustrações podem convencer até mesmo aqueles alunos que não possuem muita aptidão para com a Matemática e pouca ou nenhuma afinidade com artifícios e habilidades que, freqüentemente, são utilizados na demonstração formal. Nesse sentido, o computador tem se mostrado um excelente aliado nesse processo.

Não quero dizer com isso que a demonstração formal³³ não seja necessária em outros níveis. O papel do professor, nesse caso, é comparar a demonstração formal com a “mostração” e escolher qual delas é a melhor para convencer os alunos que um determinado resultado é verdadeiro, no contexto em que se apresenta.

Com relação à questão *“quem deve ensinar Matemática para os químicos?”*, depois de elaborado este estudo e refletindo mais profundamente acerca desta, sinto-me mais confortável para argumentar a respeito. Considerando as discussões apresentadas neste estudo, alguns conteúdos matemáticos poderiam, perfeitamente, serem trabalhados pelos químicos docentes, no contexto em que se apresentam, com a ajuda dos matemáticos, quando se fizer necessário, até pelo pouco tempo disponível para as disciplinas da Matemática que fazem parte da grade curricular dos cursos de Química.

Apenas para destacar alguns destes conteúdos: métodos numéricos para encontrar a solução de um sistema de equações diferenciais (com o auxílio do computador); estudo de matrizes e Transformada de Laplace

³³ Deduzir um fato a partir de outros resultados considerados como verdadeiros utilizando raciocínio lógico.

para a resolução de alguns tipos de equações diferenciais (também com a possibilidade de utilizar o computador) e Teoria dos Grupos. Apesar de estar bastante claro para mim este aspecto do ensino da Matemática para os químicos, para que um trabalho dessa natureza possa realmente ocorrer e de maneira adequada, é necessário, dentro da perspectiva de um trabalho integrado discutido anteriormente, que haja uma discussão dos matemáticos juntamente com os especialistas das áreas nas quais a Matemática se insere, acerca de quais conteúdos matemáticos podem (ou devem) ser ensinados pelos químicos docentes e de que maneira eles deveriam ser trabalhados.

Como já foi discutido anteriormente, no capítulo 2, nos projetos pedagógicos dos cursos de Química, de uma maneira geral, os conteúdos matemáticos são apresentados, sem que haja uma explicitação dos objetivos e dos métodos que serão utilizados para trabalhar com estes conteúdos, descaracterizando assim a idéia do que seja uma proposta curricular. Além disso, mesmo aqueles projetos que apresentam os objetivos e métodos, raramente são levados em conta pelos docentes responsáveis pelas disciplinas, de maneira que ainda têm prevalecido as aulas expositivas na maioria das instituições de ensino superior.

Contudo, não se pode negar a dificuldade que existe em modificar o que está posto, considerando os problemas com que os alunos chegam à Universidade e o pouco tempo disponível para desenvolver a quantidade de conteúdos matemáticos considerados necessários para a formação do químico e, ao mesmo tempo, para nivelar os alunos com dificuldades em relação a conhecimentos básicos de Matemática. Além disso, o número de alunos demasiadamente grande e o pouco tempo livre fora da sala

de aula também se constituem em fatores de dificuldades para alterar o que já existe.

As classes numerosas e, conseqüentemente, a necessidade de dividir a turma para que se possa utilizar a informática no ensino e aprendizagem da Matemática, por exemplo, têm sido utilizados, muitas vezes, como justificativa para os docentes não utilizarem o computador em suas disciplinas. Mais uma vez a alegação relaciona-se com o pouco tempo disponível para o desenvolvimento das disciplinas da Matemática. Para as instituições que não dispõem de uma estrutura física que possibilite o uso do computador com classes numerosas, em aulas normais, uma saída talvez pudesse ser, pensar uma estrutura física diferente para o que já existe.

Contextualizando o problema no Instituto de Química de Araraquara, apenas com o intuito de exemplificar, o laboratório didático de informática contém 19 computadores colocados de maneira que cada um deles possa ser utilizado apenas por dois alunos. Embora não seja a condição ideal, uma solução, em curto prazo, desde que se tenha um espaço físico adequado para isto, pudesse ser a criação de um ambiente com 19 mesas para três ou quatro alunos cada e um computador em cada uma delas. Este ambiente além de favorecer o trabalho em equipe (uma das sugestões que consta nas diretrizes curriculares para os cursos de Química) permite que outras mídias sejam utilizadas, em conjunto com o computador, tais como livros e lápis e papel. Dessa maneira, a utilização do computador pode vir a proporcionar um ambiente de trabalho que estimula o desenvolvimento da discussão, que pode ocorrer entre os alunos de uma equipe, entre diversas equipes da classe, ou entre a classe inteira e o docente.

Levando em conta os aspectos discutidos até aqui, acerca dos problemas relacionados com o ensino de Matemática para não matemáticos, em particular para a formação do profissional químico contemporâneo, aponto a seguir alguns caminhos no sentido de, pelo menos, minimizá-los. Vou me ater à disciplina Cálculo Diferencial e Integral 1, que faz parte da grade curricular do curso de Química da Unesp de Araraquara.

Esta disciplina, que basicamente trata das funções de uma variável, derivada e integral, é a que maior problema apresenta, problema este relacionado às dificuldades que os alunos egressos apresentam em relação à Matemática e com a falta de sincronia com as demais disciplinas do currículo, que dependem desta para o seu desenvolvimento. A carga horária dessa disciplina é de 6 horas semanais (4+2) que poderiam ser utilizadas da seguinte maneira: um curso de Pré-Cálculo (em 2 das 6 horas), desenvolvido com o auxílio do computador, abordando os assuntos do ensino fundamental e médio, assuntos estes tidos como dificuldades freqüentes, trabalhando em paralelo (nas 4 horas que restam das 6 horas) com o conceito de derivada (como taxa de variação), o conceito de equação diferencial de variável separável (como uma linguagem para modelar fenômenos químicos e/ou físicos) e o conceito de integral (para a resolução de equações diferenciais e determinação de áreas de regiões do plano).

Os conceitos de Cálculo seriam introduzidos logo no início do semestre, para que as disciplinas de Química e Física pudessem fazer uso delas como uma tentativa para, senão resolver, pelo menos amenizar o problema da defasagem que existe entre o desenvolvimento das idéias

matemáticas e suas aplicações. Posteriormente esses conceitos seriam trabalhados com maiores detalhes e com maior aprofundamento. Na realidade, se não fosse pelo pouco tempo livre fora das aulas normais, que os alunos dispõem, e pela falta de salas de aulas disponíveis, o ideal seria um curso extra de Pré-Cálculo que seria oferecido, durante o primeiro semestre, em paralelo com a disciplina Cálculo Diferencial e Integral 1, para os alunos que quisessem.

Como disse anteriormente, apesar da intenção deste estudo não estar relacionada diretamente com a elaboração de uma proposta curricular, para as disciplinas da Matemática que fazem parte da grade curricular dos cursos de Química, não se pode negar que ele está, de algum modo, relacionado com a estruturação de uma tal proposta, para uma disciplina em serviço em um curso de formação profissional. Levando isso em conta, acredito que um estudo dessa natureza poderá vir a trazer inúmeras contribuições em áreas como reforma curricular e alteração das práticas de ensino, relacionadas com o ensino de Matemática em serviço, particularmente para a formação do profissional químico contemporâneo.

Chegando ao final deste estudo vejo-me diante de um volume enorme de páginas, que trazem consigo todo o meu caminhar na busca de, pelo menos, abrandar minhas inquietações acerca do ensino de Matemática para os químicos, inquietações estas que me levaram a desenvolver este trabalho. Posso dizer que meu posicionamento atual acerca da maioria das idéias aqui apresentadas e que, no início da pesquisa, não tinham clareza alguma para mim é fruto deste trabalho. Além disso, muitas das idéias aqui manifestadas e discutidas não estavam presentes em minha prática como docente responsável por algumas das disciplinas da Matemática em um Instituto de Química.

Gostaria de finalizar este trabalho falando um pouco das mudanças que o desenvolvimento deste estudo ocasionou, na minha vida profissional e, por que não dizer, na minha vida pessoal. Sobre a minha prática docente posso dizer que as mudanças foram bastante significativas, tanto no que se refere ao papel da docente no processo de ensino e aprendizagem da Matemática, quanto às metodologias utilizadas em sala de aula para o desenvolvimento dos conteúdos matemáticos. Apesar dos inúmeros problemas enfrentados para o desenrolar desta pesquisa, uma vez que não tive afastamento integral para o desenvolvimento, tal fato possibilitou-me a oportunidade de pôr em prática, de imediato, algumas das idéias que se manifestaram a partir do estudo em questão e de constatar sua eficácia.

Logo no início do processo de desenvolvimento deste estudo, já pude sentir algumas alterações na minha postura como docente, principalmente no que diz respeito à relação professor-aluno, como também na “cara” com que as disciplinas sob minha responsabilidade passaram a se apresentar. Mesmo sem ainda ter um conhecimento teórico acerca da integração que se faz necessária entre as disciplinas da Matemática e as demais, que fazem parte da grade curricular de um curso para não-matemáticos, como é o caso da Química, levando em conta a sugestão de alguns autores estudados (Howson et al., 1988) e a minha experiência como docente junto a um Instituto de Química, iniciei um trabalho de “garimpo”, junto à literatura especializada e aos químicos e físicos docentes, para adquirir subsídios com o intuito de elaborar um material didático de apoio às aulas de Matemática. Caracterizo este trabalho como um passo inicial na direção de uma possível integração da Matemática com as disciplinas específicas do Curso

de Química da Unesp de Araraquara, bem como para uma maior valorização destas no contexto do mesmo e, quem sabe, uma maior motivação dos alunos para com o estudo da Matemática.

Como consequência, elaborei apostilas, para as disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral 1 e 2, que são constantemente aperfeiçoadas, cujos conteúdos matemáticos apresentam-se contextualizados na Química e na Física. Nestas apostilas procurei, sempre que possível, colocar exemplos e exercícios também contextualizados na Química e na Física. Estas apostilas são utilizadas como notas de aula, sem a pretensão de substituir o livro didático, com a finalidade de livrar o aluno da cópia das anotações do docente no quadro e, conseqüentemente, possibilitar uma maior atenção e participação do mesmo no desenvolvimento das idéias matemáticas em sala de aula. Além disso, o uso desse material oferece uma oportunidade para que os alunos possam ter uma idéia mais clara, acerca de como é que a Matemática insere-se no contexto da Química e/ou da Física. Além da utilização deste material como apoio didático às aulas de Cálculo, metodologias diferentes e alternativas foram desenvolvidas para se trabalhar em sala de aula com os conteúdos matemáticos.

Posso dizer que a grande mudança ocorrida, a partir da elaboração desta pesquisa, relaciona-se com a minha postura enquanto docente frente às disciplinas da Matemática. O compromisso da relação pessoal e humana com meus alunos passou a ser uma prioridade. Não há como pensar em uma convivência de três ou quatro meses em comum sem que haja respeito, afeto e cumplicidade nessa relação. Sem o desenvolvimento do lado humano do processo educacional, característico desse processo, nos tornamos simples

peças numa engrenagem social cada dia menos humanizada e mais mercantilizada, deixando de lado toda a questão do valor da pessoa humana que, em particular, é o que nos garante uma sociedade qualitativamente boa de se viver e de se conviver.

A partir desse trabalho, pude observar, num primeiro momento, uma maior valorização, por parte dos alunos e, posteriormente, pela própria instituição (na visão da direção do instituto e de alguns químicos docentes) para com as disciplinas da Matemática. Além disso, tenho notado, em alguns momentos, uma maior motivação dos alunos para com o estudo da Matemática.

Como produto mais recente deste estudo, que tem como estrutura base a apostila de Cálculo Diferencial e Integral 1, vem sendo elaborado um material didático - que será disponibilizado em CD e em um site na Internet - que denomino, precocemente, de "apostila interativa" que pode ser caracterizada como um somatório das propriedades do hipertexto (modo de apresentação de informações escritas, que se utiliza hiperlinks para acessar trechos de um mesmo, ou outro documento) com as da multimídia (texto, gráficos, ilustrações, sons, vídeos, animações).

Um aspecto que se evidencia neste trabalho é a ênfase no valor que é dado ao visual para mediar a compreensão dos conceitos. O objetivo principal, desse material, é então oferecer ao aluno uma possibilidade a mais para que ele possa desenvolver uma compreensão dos conceitos matemáticos, acreditando ser de extrema importância a interação do aluno com o objeto de estudo - propiciando a descoberta, inferir resultados,

levantar e testar hipóteses, criar situações problemas - como uma maneira de tornar o conhecimento significativo. Espero ainda que um material dessa natureza possa motivar o aluno a aprender e buscar novos conhecimentos, estimulando-o através dos recursos possibilitados pela informática.

Necessário considerar aqui que, as conclusões obtidas, com base na análise dos dados, são limitadas e restritas aos químicos envolvidos neste estudo e às suas opiniões efetivamente manifestadas, bem como à minha experiência como docente em um Instituto de Química, frente às disciplinas da Matemática, e à minha competência enquanto pesquisadora. Assim, parece-me indispensável que outras investigações sejam elaboradas, que possam vir a prolongar, no sentido de complementar, o presente trabalho com a finalidade de tornar este estudo, efetivamente, uma proposta de estrutura curricular para a área da Matemática nos Cursos de Química em nível superior.

Chego ao fim desta dissertação, olhando para estas duzentas e tantas páginas escritas, com uma sensação muito agradável de missão cumprida. Missão esta que, inicialmente, caracterizou-se como um fardo extremamente pesado, devido a minha falta de experiência na área e à expectativa de vencer um enorme desafio - o processo de elaboração da Minha Tese. Desnecessário dizer o quão trabalhoso e penoso foi esse processo. Inúmeras consultas a referências bibliográficas, pesquisas junto a instituições de ensino superior, docentes, empresas e profissionais. Tudo isso junto, pouco a pouco, acabou por transformar o desafio em um enorme prazer e uma grata satisfação.

Tomo a liberdade aqui de estabelecer um paralelo entre o processo de produção dessa tese com o de gestação de um bebê, onde as dificuldades vividas nos meses que antecedem o nascimento vão sendo deixadas de lado em função da proximidade deste. E assim foi o desenvolvimento de Minha Tese: mês a mês ela ia crescendo, tomando forma, e a cada dia que passava as coisas pareciam encaixar-se no seu devido lugar. Idéias iam surgindo, completavam o raciocínio e, quando dei por mim, a Minha Tese estava pronta. Como o nascimento de um bebê, traz consigo uma mistura de uma enorme alegria com a de uma grande expectativa com relação ao futuro, sentimentos que levo comigo nessa nova fase de minha vida, pessoal e profissional, que se inicia a partir de agora.

Maria Helena S. S. Bizelli
Rio Claro / 2003

Bibliografia

- AHMED**, I. A. *Teaching Service Mathematics-Remarks from a third world perspective*. – University of Gezira, Wad Medani, Sudan.
- ALVES-MAZZOTTI**, A J.; **GEWANDSZNAJDER**, F. *O Método nas Ciências Naturais e Sociais: Pesquisa Quantitativa e Qualitativa*. São Paulo: Pioneira, 1998.
- BACCIOTTI**, A., **BOIERI**, P. *Teaching Mathematics to engineers: some remarks on the italian case*. (Politecnico di Torino, Torino, Italy). In Selected Papers on the teaching of mathematics as a service subject (edited by R. R. Clements – University of Bristol – P. Lauginie – Université de Paris/SUD – E. De Turckheim – INRA) Springer Verlag, Wien – New York, 1988.
- BALDINO**, R. R. (1995a). *Como integrar disciplinas sobre o ponto de vista epistemológico*. In: Encontro Setorial dos Cursos de Graduação da UNESP, 1, 1995, Águas de Lindóia. Anais...Águas de Lindóia, 1995, pp. 30-47.
- BENT**, H. A. *Can Science be taught without mathematics?* Journal College of Science Teaching, 6 (4), 1976.
- BICUDO & SPOSITO** *Pesquisa Qualitativa em Educação – Um enfoque Fenomenológico*. UNIMEP, Piracicaba, SP, 1994.
- BIZELLI**, M. H. S. S., **BORBA**. M. C. *O conhecimento matemático e o uso de softwares gráficos.*, Revista - Educação Matemática em revista, Ano 6 - Nº7 - Julho de 1999, pp 45 – 54, 1999.
- BORBA**, M. C. *Tecnologias Informáticas na Educação Matemática e Reorganização do pensamento*. In: BICUDO, M. A. V. (ORG.). Pesquisa em Educação Matemática: Concepções e Perspectivas. São Paulo: Editora Unesp, 1995, pp. 285-295.

- BORBA, M. C.** "A Informática Trará mudanças na Educação Brasileira?" Revista Zetetiké nº 6 do Círculo de Estudos, Memória e Pesquisa em Educação Matemática da Faculdade de Educação da UNICAMP, Campinas, 1996.
- BORBA, M. C.** "Graphing Calculators, Functions and Reorganization of the Classroom" Sevilha, Anais do Grupo de Trabalho 16 "O papel da Tecnologia na sala de aula de Matemática" do 8th International Congress of Mathematical Education (ICME), pp. 53-60, 1997.
- BORBA, M. C.** *Calculadoras Gráficas e Educação Matemática - Volume 6* Universidade Santa Úrsula - Mestrado em Educação Matemática Série Reflexão em Educação Matemática - 134 pp, 1999.
- BRENEMAN, G. L.** *A Chemistry Degree Program with Computer Science Emphasis.* Journal of Chemical Education, v.68. n.10, 832-834, 1991.
- BRESSOUD, D. M.** *Why do we Teach Calculus?* The American Mathematical Monthly, n.3, v.103, pp. 230-232, 1996.
- British Committee on Chemical Education** *Mathematics and School Chemistry* - Education in Science, 14-21, 1974
- BROWN, T. L., LE MAY, H. E., BURSTEN, B. E.** *Chemistry - The Central Science*, sixth edition. Prentice-Hall International, Inc. 1994
- CARVALHO, G. C. de .** *Aulas de Química.* S.P. Editora Nobel, 1981, v2.
- CHASSOT, A . I.** *A Educação no Ensino da Química.* Livraria Unijuí Editora, RS, 1990.
- _____ *A Ciência Através dos Tempos.* Ed. Moderna Ltda, 4^a ed., 1995.
- _____ *Catalisando Transformações na Educação.* 3^a ed., Editora Unijuí, RS, 1995.
- COLE, M., JANES, R., MCLEAN, M., NICHOLAS, G.** *Does university chemistry need to be boring?* Education in Chemistry, p. 56, 1998.

- D'AMBRÓSIO, U.** *Da Realidade à Ação: reflexões sobre Educação Matemática* – Ed. da UNICAMP, São Paulo, Summus, Campinas, 1986.
- DEMANA, F. & WAITS, B. K.** *Why a single graph isn't enough.* The College Mathematics Journal. 19, 177-183, 1988.
- DENZIN, N. K. ; LYNOLN, Y. S.** *Handbook of Qualitative Research.* Sage Publications, Inc, 1994.
- DENCE, Joseph B.** *The Mathematics needed in freshman college chemistry* – Science Education, 54 (3): 287-290, 1970.
- DOGGETT, Graham** *What, no Maths?* – Education in Chemistry, 1997 (julho), 105-106.
- DOGGETT, G. and SUTCLIFFE, B. T.** *Mathematics for Chemistry* Longman Scientific & Technical, 1995.
- FARADAY, M.** *Experimental Researches in Electricity* – London, Richard and John E. Taylor, 1839, 3v (Reprinted from the Philosophical Transactions of 1831-1838).
- FEY, J. T.** *Tecnologia e Educação Matemática – Uma revisão de desenvolvimentos recentes e problemas importantes.* Cadernos de Educação Matemática, nº 2, organização de João Pedro Ponte, Cooperativa de Artes Gráficas, CRL, Portugal, 1991.
- FIGUEIREDO, D. G.** *Problemas Resolvidos de Físico-Química* Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A. 1982.
- FILHO, L. A. de M et al.** *Integração de Cálculo e Física nos Cursos de Engenharia na UFSCAR.* In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Anais... Natal – RN, 1999, pp. 933-1001.

- FRANCHI**, R. H. de O. L. *A Modelagem como Estratégia de Aprendizagem do Cálculo Diferencial e Integral nos Cursos de Engenharia*. Dissertação de Mestrado em Educação Matemática - UNESP, Rio Claro, 148p., 1993.
- GOLDENBERG**, E. P.; **HARVEY**, W.; **LEWIS**, P.; **WEST**, J.; **ZODHIATES**, P. *Mathematical, technical and pedagogical challenges in the graphical representation of functions*. Technical Report, Cambridge, MA, USA: Educational Technology Center, 1988.
- GOLDENBERG**, E. P. and **KLIMAN**, M. *What you see is what you see*. Unpublished Manuscript, Newton, MA, USA: Educational Technology Center: 1990.
- GOLDENBERG**, M. *A Arte de Pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais - 2ª Ed.* - Rio de Janeiro: Record, 1998.
- GOLDFARB**, Ana Maria Alfonso Da Alquimia à Química, São Paulo: Landy Editora, 2001.
- GOODSTEIN**, M. P. *Reflections Upon Mathematics in the Introductory Chemistry Course*. Journal of Chemical Education, V. 60, Nº 8, 1983.
- HENSON**, R., **STUMBLES**, A. *Mathematics and chemistry*. Education in Chemistry, 14, 117-119, 1977.
- Howson et al.** *Mathematics as a Service Subject*. In Selected Papers on the teaching of mathematics as a service subject (edited by R. R. Clements - University of Bristol - P. Lauginie - Universite de Paris/SUD - E. De Turckheim - INRA) Springer Verlag, Wien - New York, 1988.
- INGLE**, R. B. & **TURNER**, A. D. *Mathematics and Chemistry - Education in Chemistry*, 48-51, 1981.

- KLEINFELD**, M. *Calculus Reformed or Deformed?* The American Mathematical Monthly, n.3, v.103, pp. 615-617, 1996.
- KOPNIN**, P. V. *Fundamentos Lógicos da Ciência*. Tradução de Paulo Azevedo. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1972.
- LAIDLER**, K. J. *The world of Physical Chemistry*. Oxford University Press, 1993.
- LEVY**, G. C. *How Changes in Computer Technology are Revolutionizing the Practice of Chemistry*. Journal Chem. Inf. Comput. Sci. 1988, 28, 167-174.
- LÉVY**, P. *As Tecnologias da Inteligência - O futuro do Pensamento na era da Informática*. Coleção Trans, Ed. 34, São Paulo, Trad. COSTA, C. A., 1993.
- LINCOLN**, Y. S. & **GUBA**, E. G. *Naturalistic Inquiry*. Sage Publications, 1985.
- LINDO**, Augusto Pérez *El Currículo Universitario Frente a los Cambios em los Sistemas de Ideas y Creencias*. Primer Encuentro Nacional sobre la Universidad como Objeto de Investigación, Anais. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, v. 7, n. 1, pp. 73-88, 1996.
- LUDKE**, M. & **ANDRÉ**, M. E. D. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986, 98p.
- MACHADO**, N. J. *Epistemologia e Didática*. (2ª ed.). Cortez, Campinas, 1996.
- MALPAS**, A. J. *Mathematics and Science in the secondary school - Education in Science*, 27-32, 1973.

- MARTINS, J. & BICUDO, M.A.V.** *A pesquisa qualitativa em Psicologia: fundamentos e recursos básicos*. Sociedade de Estudos e Pesquisa Qualitativa. São Paulo: Moraes, 1989, 110p.
- MAXWELL, J. C.** *A Treatise on electricity and magnetism*. Dover, Dover Publ, 1954, 2v. (Reimpressão da 3ª Ed. De 1891).
- MILES, Matthew B., HUBERMAN, A. Michael.** *Qualitative data analysis: a sourcebook of new methods*. Beverly Hills, CA: Sage, 1984, 263p.
- MILNE, G. W. A.** *Mathematics as a Basis for Chemistry*. J. Chem. Inf. Comput. Sci.. 1997, 37, 639-644.
- MURAKAMI, Haruo** *Mathematical Education for Engineering Students*. Department of Applied Mathematics - Faculty of Engineering Kobe University (Japan). In Selected Papers on the teaching of mathematics as a service subject (edited by R. R. Clements - University of Bristol - P. Lauginie - Universite de Paris/SUD - E. De Turckheim - INRA) Springer Verlag, Wien - New York, 1988.
- NICOLESCU, Basarab.** *O manifesto da transdisciplinaridade*. Tradução: Lúcia Pereira de Souza. São Paulo: Triom, 1999.
- NOSS, R. & HOYLES, C.** *Windows on Mathematical Meanings - learning cultures and computers*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- OPPEINHEIMER, J. R.** *Ciência e Cultura*, 35 (12): 1826, 1983.
- PATTON, Michael** *Qualitative Evaluation Methods*. Beverly Hills, CA: Sage, 1980, 381p.
- PONTE, J. P.** *O Computador na Educação Matemática - Cadernos de Educação Matemática*, junho/1991.

- REDLICH, O.** *Science and Mathematics*. Journal of Chemical Education, 49 (4), 1972.
- ROUBINE, E.** *Some Reflections about the teaching of mathematics in engineering schools*. (Retired) Professor at University of Paris and Ecole Supérieure d'Electricité – France. In Selected Papers on the teaching of mathematics as a service subject (edited by R. R. Clements – University of Bristol – P. Lauginie – Université de Paris/SUD – E. De Turckheim – INRA) Springer Verlag, Wien – New York, 1988.
- SERVOS, J. W.** *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling – The making of a Science in America*. Princeton University Press, 1996.
- SILVA, Thomas Tadeu da** *Documentos de Identidade: uma introdução às teorias do currículo*. Belo Horizonte: Autêntica, 1999. pp 14-15
- SIMONS, Fred** *Teaching first-year students* (Eindhoven University of Technology – Department of Mathematics and Computing Science – The Netherlands). In Selected Papers on the teaching of mathematics as a service subject (edited by R. R. Clements – University of Bristol – P. Lauginie – Université de Paris/SUD – E. De Turckheim – INRA) Springer Verlag, Wien – New York, 1988.
- SOARES, E. M. do S. et al.** *Programando Ambientes de Aprendizagem que Relacionam Conceitos Matemáticos e Fenômenos Físicos*. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Anais... Natal – RN, 1999, pp. 808-815.
- SOUZA, T. S.** *Calculadoras Gráficas e Funções Quadráticas*. Dissertação de Mestrado em Educação Matemática – UNESP, Rio Claro, 1996, 221 p.
- TORRES, E. A. B. et al.** *A Importância da Geometria Descritiva na Engenharia*. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, , Anais ... Natal – RN , 1999, pp. 310-317.

VANIN, J. A. *Alquimistas e Químicos – o passado, o presente e o futuro.* 9ª Edição, Coleção Polêmica, Ed. Moderna, 1996.

VILLARREAL, M. E. *O Pensamento Matemático de Estudantes Universitários do Cálculo e Tecnologias Informáticas.* Tese de Doutorado em Educação Matemática – UNESP, Rio Claro, 1999, 420 p.

WARREN, Warren S. *The Physical Basis of Chemistry.* Academic Press, Inc. 1994.

WILLIAMS, H. B. *Elementary Physical Chemistry and Mathematics – Journal of Chemical Education*, 29 (2): 77, 1952

Apêndice 1

Neste apêndice, procuro oferecer alguns exemplos dos tópicos que os docentes idealizam como necessários para a formação do químico, para que o leitor, não familiarizado com a Química, possa ter uma idéia mais clara acerca de como é que a Matemática insere-se no contexto da Química e/ou da Física como descrito pelos docentes entrevistados.

A seguir apresento um exemplo aonde é utilizado o conceito de logaritmo no cálculo de pH.

Exemplo (Soluções ácidas, básicas e neutras³⁴) - Uma *solução ácida* é aquela na qual a concentração de íons hidrogênio é maior do que a de íons hidróxido. Uma *solução básica* é aquela na qual ocorre o inverso ($[\text{OH}^-]$ excede $[\text{H}^+]$) e uma *solução neutra* é aquela na qual estas duas concentrações são iguais. A concentração de íons hidrogênio em uma solução pode variar de mais de 10 M a menos de 1×10^{-15} M. A escala de pH foi feita para expressar esse grande intervalo de acidez de uma maneira mais conveniente. O pH é definido como sendo o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio em uma solução.

$$\text{PH} = - \log [\text{H}^+] \quad \text{ou} \quad \text{pH} = - \log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

³⁴ RUSSELL, John Blair *Química Geral*. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda., São Paulo, 1982.

Assim, para uma solução na qual $[H^+] = 1 \times 10^{-3} \text{ M}$, o pH é igual a 3,0.

Uma solução neutra, na qual $[H^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ M}$, tem um pH igual a 7,0.

O exemplo a seguir mostra um dos contextos em que o logaritmo e a representação gráfica de um conjunto de dados são utilizados, por exemplo, no estudo da Cinética Química³⁵.

Exemplo³⁶: Numa reação química do tipo $A + B \rightarrow \text{produto}$, a velocidade da reação (v_A) é proporcional as concentrações dos reagentes elevadas a potências pequenas que são freqüentemente (mas não necessariamente) números inteiros, ou seja,

$$v_A = \frac{dc_A}{dt} = kc_A^p c_B^r \quad (1)$$

onde c_A é a concentração de A, c_B é a concentração de B e a constante k é denominada de *constante de velocidade* da reação e varia com a temperatura mas é independente da concentração. Equações do tipo (1) são denominadas de *equações de velocidade*. Os expoentes das concentrações na equação (1) são conhecidos como a ordem de uma reação com relação a cada reagente, isto é, p é a ordem da reação com relação a A, r é a ordem da reação com relação a B. A *ordem da reação* é definida como $p + r$ que é a soma dos expoentes que afetam as concentrações na equação da velocidade. Existem vários métodos úteis para determinar ordens de reação.

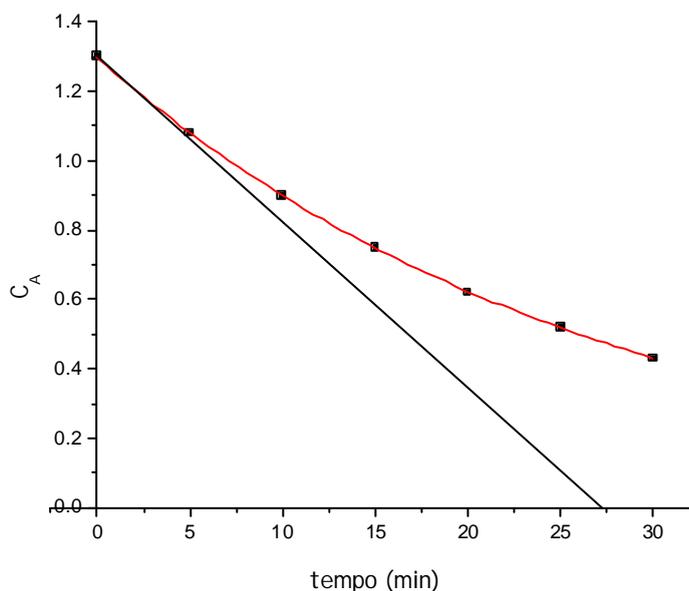
³⁵ Estudo das velocidades (medida da rapidez com que se formam os produtos e se consomem os reagentes) e mecanismos (seqüência detalhada de etapas simples, elementares, que levam dos reagentes aos produtos e a relação dessas etapas entre si) das reações químicas.

³⁶ WHITE, J. Edmund *Physical Chemistry* Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, Orlando, Florida, 1987.

Método 1 (da velocidade inicial) - envolve a realização de uma série de experiências separadas a uma dada temperatura, a determinação da velocidade no início de cada experiência, e então, a análise matemática da relação entre a concentração inicial e a velocidade final. Consideremos uma reação do tipo $A \rightarrow \text{produtos}$, cujos dados resultantes estão descritos na tabela abaixo.

Medidas	1	2	3	4	5	6	7
Tempo (min)	0	5	10	15	20	25	30
c_A (concentração de A)	1.30	1.08	0.90	0.75	0.62	0.53	0.43

Colocando esses dados num gráfico (figura abaixo), a velocidade instantânea da reação, correspondente a qualquer tempo, poderá ser calculada a partir do coeficiente angular da tangente à curva no tempo especificado. A velocidade inicial da reação é obtida desenhando-se a reta tangente à curva para $t = 0$ e calculando-se seu coeficiente angular.



$$m = \frac{C_{A_2} - C_{A_1}}{t_2 - t_1} = \frac{0 - 1,30}{27,2 - 0} = - 4,78 \times 10^{-2} \text{ M min}^{-1}$$

Então, para $t = 0$ (quando a concentração de A é igual a 1,30 M) a *velocidade instantânea de variação da C_A* é $-\frac{dC_A}{dt} = 4,78 \times 10^{-2} \text{ M min}^{-1}$. Realizando-se outras experiências à mesma temperatura, a velocidade inicial da reação pode ser obtida para outras concentrações iniciais, como podemos ver abaixo:

Experiência nº	C_A inicial , M	Velocidade inicial, $-\frac{dC_A}{dt}$, M min ⁻¹
1	1,30	$4,78 \times 10^{-2}$
2	2,60	$9,56 \times 10^{-2}$
3	3,90	$1,43 \times 10^{-1}$
4	0,891	$3,28 \times 10^{-2}$

Podemos observar que ao dobrar a concentração inicial de A, ocorre uma duplicação da velocidade inicial; da mesma forma, triplicando-se a concentração inicial de A, triplica-se também a velocidade da reação, mostrando assim existir uma proporcionalidade direta entre a velocidade e a concentração, ou seja,

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A$$

que se refere a uma reação de primeira ordem.

Método 2 (gráfico) – O método gráfico apresenta duas vantagens sobre o método das velocidades iniciais: necessita-se apenas uma experiência para a obtenção dos dados necessários para calcular a ordem da reação e a constante de velocidade; e a dificuldade da determinação das velocidades iniciais pela estimativa das tangentes à curva para $t = 0$ é evitada.

Reações de primeira ordem: A teoria nos diz que para uma reação de primeira ordem $A \rightarrow$ produtos, para a qual a velocidade não depende dos produtos, temos que $-\ln \frac{c_A}{c_{A,0}} = k_1 t$ onde $c_{A,0}$ é a concentração de A em $t = 0$. Assim, obtemos a seguinte equação $-\ln c_A = k_1 t + C$. O gráfico de $\ln c_A$ versus t para uma equação de primeira ordem, é uma reta com coeficiente angular igual a $-k_1$. No caso em que é mais conveniente utilizar o logaritmo na base 10, o coeficiente angular da reta é dado por $-k_1/2,303$.

Reações de segunda ordem: No caso de uma reação de segunda ordem, do tipo $A \rightarrow$ produtos, a equação é $\frac{1}{c_A} = k_2 t + C$. O gráfico de $1/c_A$ versus t , deve ser uma reta com coeficiente angular igual a constante de velocidade k_2 .

Reações de ordem zero: Numa reação de ordem zero, do tipo $A \rightarrow$ produto, a equação é $c_A = -k_0 t + C$. O gráfico de c_A versus t é uma reta com coeficiente angular igual a $-k_0$.

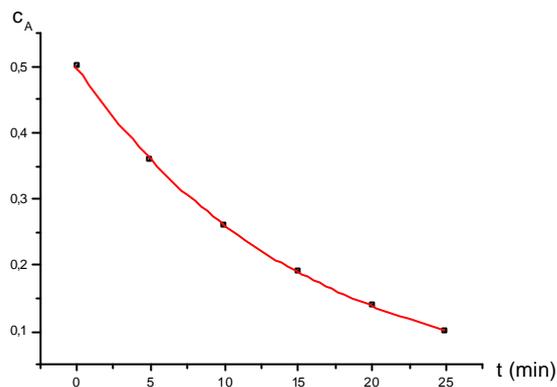
Vejamos então um exemplo para ver como esse processo funciona na prática. No estudo da Cinética Química³⁷, os seguintes dados foram obtidos para a reação química $A \rightarrow$ produtos.

Medidas	1	2	3	4	5	6
Tempo (min)	0	5	10	15	20	25
c_A (concentração de A)	0.5	0.36	0.26	0.19	0.14	0.10

O objetivo aqui é determinar a constante de velocidade k_1 e a ordem da reação. Da teoria sabemos que é a partir de um gráfico que se

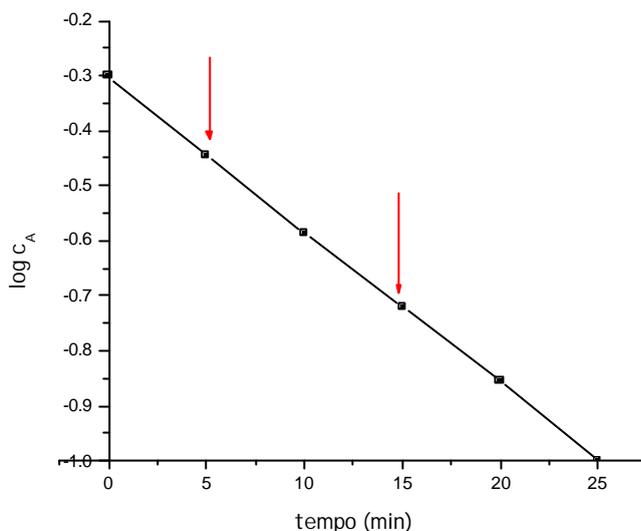
³⁷ Enquanto a **Termodinâmica** lida com sistemas em equilíbrio e com as relações entre energia térmica e outras formas de energia, a **Cinética Química** preocupa-se com os sistemas antes que o equilíbrio seja alcançado.

determina a ordem e a constante de velocidade. O primeiro passo poderia ser esboçar o gráfico de c_A versus t , para verificar se a reação é de ordem zero.



Podemos observar que para ser uma reação de ordem zero, os dados deveriam se ajustar a uma reta, o que não acontece. O próximo passo é determinar o logaritmo na base 10 de cada concentração e esboçar o gráfico de $\log c_A$ versus t .

Medidas	1	2	3	4	5	6
Tempo (min)	0	5	10	15	20	25
c_A (concentração de A)	0,5	0,36	0,26	0,19	0,14	0,10
$\log c_A$	-0,301	-0,444	-0,585	-0,721	-0,854	-1,0



Como o gráfico de $\log c_A$ versus t representa uma reta, então a ordem da reação é igual a 1. Para calcular a constante de velocidade k_1 , precisamos determinar o coeficiente angular da reta a partir de dois pontos da mesma.

$$m = \frac{\Delta \log c_A}{\Delta t} = \frac{-0.444 - (-0.721)}{5 - 15} = \frac{0.277}{-10} = -0,0277 \text{ min}^{-1} = -\frac{k_1}{2.303}$$

$$\Rightarrow k_1 = 0.064 \text{ min}^{-1}$$

Método 3 (da meia-vida) – Esse método é útil, às vezes, no caso de reações de primeira ordem. A idéia é mostrar que a meia-vida de uma reação é uma constante e, nesse caso, a reação será de primeira ordem.

A meia-vida de uma reação é definida como sendo o período de tempo necessário para que a metade de um reagente seja consumido. Para uma reação de primeira ordem, temos que é válida a relação

$$\log C_A = -\frac{k_1}{2,303} t + \log C_{A,0}.$$

Assim, considerando $C_{A,1/2}$ como sendo a concentração remanescente de A no fim do período de meia-vida, ou seja, no tempo $t_{1/2}$, temos que:

$$\log C_{A,1/2} = -\frac{k_1}{2,303} t_{1/2} + \log C_{A,0}$$

$$\frac{k_1}{2,303} t_{1/2} = \log C_{A,0} - \log C_{A,1/2} = \log \frac{C_{A,0}}{C_{A,1/2}}$$

Como $C_{A,1/2} = \frac{1}{2} C_{A,0}$, então, $\frac{k_1}{2,303} t_{1/2} = \log \frac{C_{A,0}}{C_{A,1/2}} = \log 2$.

$$\Rightarrow t_{1/2} = \frac{2,303 \log 2}{k_1} = \frac{0,693}{k_1} = \text{constante}$$

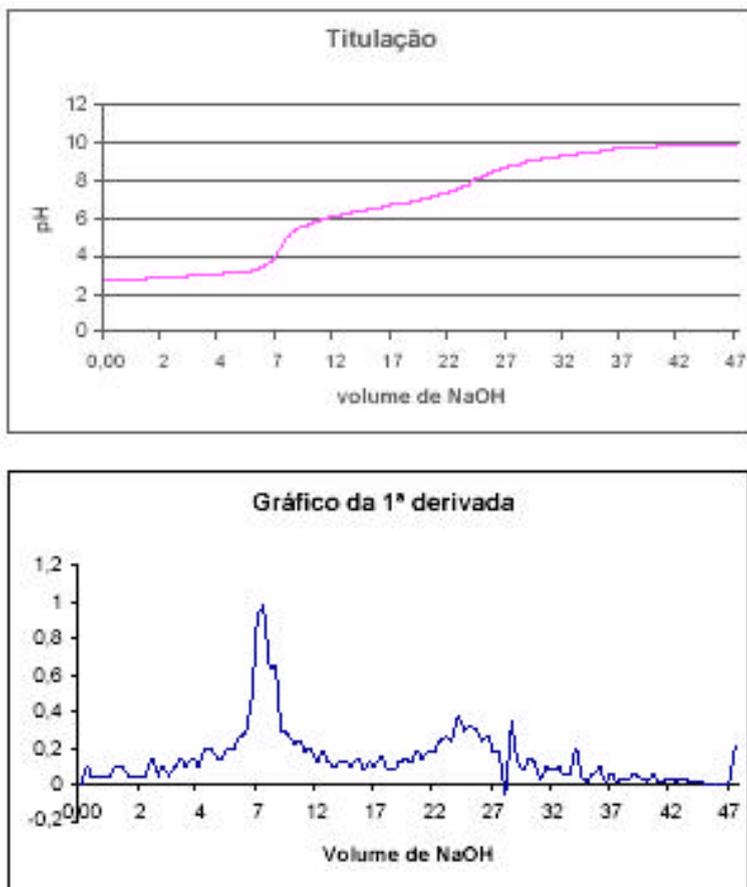
e, portanto, a reação será de primeira ordem.

A seguir, apresento um exemplo em que a análise do gráfico da derivada é utilizada para determinar a concentração do ácido fosfórico contido na Coca-Cola, num processo de titulação potenciométrica.

Exemplo: Titulação potenciométrica com recurso a medidor de pH

Pretende-se determinar a concentração do ácido fosfórico contido na Coca-Cola. Para tal iremo-nos servir da análise do gráfico da 1ª derivada da função que traduz a variação de pH em função do volume de titulante adicionado, no caso, NaOH.

Titulação da Coca Cola



Determinação da concentração de ácido fosfórico na Coca Cola:

Para a titulação da Coca Cola, fez-se uma diluição de 1:10 da solução de NaOH preparada anteriormente. Passamos a ter então uma concentração $C = 0,00963$

$$n = C \cdot v \hat{=} n = 0,00963 \times 0,00750 \hat{=} 7,22 \cdot 10^{-5} \text{ mol de NaOH no ponto de equivalência}$$

$$\hat{=} n = 7,22 \cdot 10^{-5} \text{ mol de NaOH no ponto de equivalência}$$

No ponto de equivalência sabe-se que:

$$n^\circ \text{ de moles de NaOH} = n^\circ \text{ de moles de H}_3\text{PO}_4$$

Então:

$$C = n / v \hat{=} C = 7,22 \cdot 10^{-5} / 0,020 \hat{=} 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$\hat{=} C = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

Conclusão:

Os pontos de equivalência³⁸ são identificáveis graficamente como os pontos de inflexão do gráfico que traduz a variação de pH durante uma titulação. Por vezes acontece que uma simples observação, por mais atenta que seja, não nos permite identificar rigorosamente tais pontos. Temos então que recorrer ao gráfico da 1ª derivada. Sabendo que nos pontos de inflexão de um gráfico a derivada assume seu valor máximo ou mínimo ou não está definida, é nos então muito mais simples determinar os pontos de equivalência.

A seguir, apresento um exemplo em que a derivada é utilizada no contexto da Química, mais particularmente, da Físico-Química. O exemplo mostra a importância do químico ter um conhecimento acerca das idéias que estão por trás do conceito de derivada, além das técnicas de derivação.

Exemplo³⁹: No estudo da Cinética Química⁴⁰, os seguintes dados foram obtidos para a reação química $A \rightarrow \text{produtos}$.

Medidas	1	2	3	4	5	6
Tempo (min)	0	5	10	15	20	25
[A] (concentração de A)	0.5	0.36	0.26	0.19	0.14	0.10

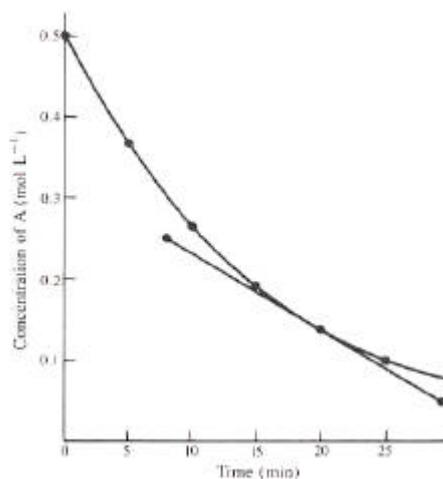
³⁸ **Ponto de equivalência em uma titulação** é o ponto em que número igual de equivalentes de reagentes e produtos foram misturados – normalmente o pH no ponto de equivalência muda bruscamente com a adição de volumes muito pequenos de titulante.

³⁹ WHITE, J. Edmund *Physical Chemistry* Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, Orlando, Florida, 1987.

⁴⁰ Enquanto a **Termodinâmica** lida com sistemas em equilíbrio e com as relações entre energia térmica e outras formas de energia, a **Cinética Química** preocupa-se com os sistemas antes que o equilíbrio seja alcançado.

O objetivo aqui é calcular a velocidade instantânea da reação em 17,5 min, se o volume do sistema permanecer constante. Como o volume do sistema é constante, a teoria nos diz que a velocidade da reação é dada por $-\frac{dC_A}{dt}$, onde C_A é a concentração do reagente A e t é o tempo. O valor da derivada $\frac{dC_A}{dt}$ é obtido a partir do gráfico da concentração de A (C_A) versus o tempo (t), através do coeficiente angular da reta tangente à curva, ajustada aos dados, em $t = 17,5$ min.

Figura 1



Assim, utilizando a reta tangente, em 17,5 min, descrita no gráfico da figura 1, que passa pelos pontos (8,4;0,25) e (29,4;0,05), seu coeficiente angular é dado por:

$$m = \frac{\Delta C_A}{\Delta t} = \frac{0,25 - 0,05}{8,4 - 29,4} = -0,0095 \text{Mmin}^{-1} = \frac{dC_A}{dt}$$

A velocidade instantânea da reação em $t = 17,5$ min é

$$\text{velocidade instantânea} = -\frac{dC_A}{dt} = 0,0095 \text{ min}^{-1}$$

O exemplo a seguir mostra como a integral é utilizada para o cálculo do trabalho produzido por um gás em expansão ou compressão. A quantidade de trabalho pode ser calculada, se a dependência da pressão pelo volume pode ser expressa através de uma equação matemática como as equações de estado (equação de um gás ideal⁴¹ e a equação de van der Waals).

Exemplo⁴²: Calcular o trabalho feito se 2 moles de um gás ideal, inicialmente ocupando um volume de 30 litros em 280K, é expandido isotermicamente (temperatura constante) e reversivelmente até o volume de 50 litros.

Observar que a pressão não é mencionada. A pressão inicial poderia ser calculada, mas seu valor, nesse caso, não é necessário. Como o gás é ideal e o processo é reversível, a teoria nos diz que:

$$P_{\text{gas}} = \frac{nRT}{V} = P_{\text{ext}} = P_{\text{op}}$$

Onde P_{op} é a pressão que se opõe a expansão, denominada de *pressão externa*, enquanto a pressão exercida pelo gás é denominada de *pressão interna*.

O trabalho feito por um gás em expansão é definido por

$$w = - \int P_{\text{ext}} dV = - \int_{V_1}^{V_2} P_{\text{op}} dV = - \int_{V_1}^{V_2} P_{\text{gás}} dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

$$\text{Então, } w = - nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - nRT \ln \frac{V_2}{V_1} =$$

$$= (-2 \text{ mol})(8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(280 \text{ K}) \left(\ln \frac{50}{30} \right) = - 2,38 \text{ kJ} //$$

⁴¹ **gás ideal** – gás cujo comportamento é descrito pela lei $PV = nRT$

⁴² WHITE, J. Edmund *Physical Chemistry* Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, Orlando, Florida, 1987.

Uma observação bastante pertinente nesse caso é o fato de que, para resolver o problema anterior, foi importante, para um aluno do curso de bacharelado, a técnica do cálculo da integral e não o conceito de integral. Dificilmente o aluno vai se preocupar com o por que de se utilizar uma integral para definir o trabalho, a não ser se o docente chamar a atenção para este fato, quando estiver resolvendo um problema desta natureza. Mais ainda, com a utilização do computador a habilidade em se calcular uma integral deixa de ser tão importante neste contexto. Sua importância estaria relacionada com a dedução da fórmula do trabalho, a partir da idéia de integral como uma soma de diferenciais, o que raramente o aluno tem consciência desse fato. É importante observar ainda que, algumas vezes, na prática, para o cálculo do trabalho é utilizado direto a expressão com o logaritmo, sem usar a integral, ou seja, $w = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$, descaracterizando assim sua necessidade nesse contexto.

Um exemplo da utilização da derivada parcial na Termodinâmica, entre tantos outros, é o cálculo do coeficiente de expansão termal.

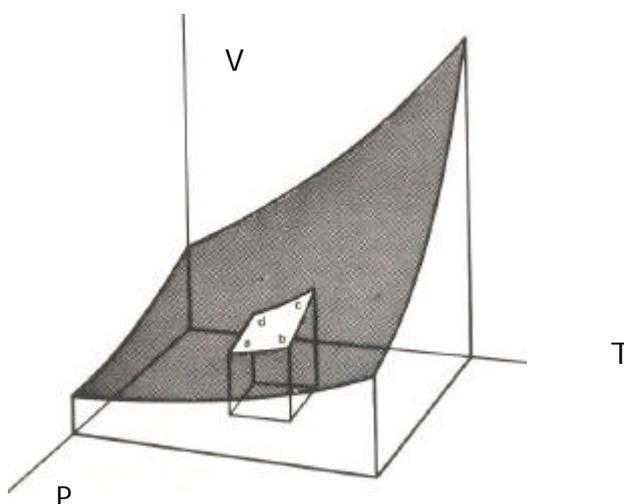
Exemplo: À pressão constante, a mudança no volume quando a temperatura muda pode ser expressa como um coeficiente, $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$. Quando multiplicado por $\frac{1}{V}$, esta quantidade é chamada de *coeficiente de expansão termal* e é designado por α (alfa). Então, $\alpha = \left(\frac{1}{V}\right)\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$.

Nesse exemplo foi necessária a compreensão de derivada parcial como uma taxa de variação de uma grandeza em relação à variação de uma outra, para a dedução da equação que define o *coeficiente de expansão termal*.

A dependência entre propriedades termodinâmicas, ou seja, entre propriedades consideradas *funções de estado* e propriedades consideradas *variáveis de estado* é um fato observável, cujas conseqüências podem ser aprofundadas com recursos da Matemática. Para ver esse fato, vamos considerar uma propriedade z , que é função contínua das variáveis de estado x e y ($z(x,y)$). Uma variação infinitesimal da propriedade (correspondente à passagem do sistema entre estados extremamente próximos) é dada pela diferencial total dz , definida por:

$$dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x dy.$$

Tomemos como exemplo o volume de uma certa massa de um sistema simples, que é função apenas da temperatura e da pressão. Então $V(T,P)$ e $dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T dP$. A representação geométrica da relação $V(T,P)$ é descrita através de uma superfície denominada de *superfície de estado* (ver figura abaixo).



A vertical levantada a partir de um ponto qualquer do plano horizontal de coordenadas (P,T) encontra a superfície a uma distância que mede o volume V do sistema nas condições de pressão e temperatura correspondentes àquele ponto. Considere que a superfície, cujo contorno é $abcd$, representa um elemento infinitesimal da superfície de estado. A transformação ac pode ser decomposta em duas outras sucessivas, ab e bc : a primeira mantendo a pressão constante (isobárica) e a segunda mantendo a temperatura constante (isotérmica). Os volumes correspondentes aos pontos a , b , c e d são dados pelas perpendiculares baixadas destes pontos, resultando assim:

$$V_c - V_a = (V_b - V_a)_P + (V_c - V_b)_T.$$

Substituindo os incrementos pelas diferenciais e considerando que a diferencial de uma função de uma variável é igual ao produto da derivada da função pela diferencial da variável, temos como resultado a equação $dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP$. Assim, se $V(T,P)$ então $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ dá a inclinação de uma isóbara na temperatura T , em torno da qual foi tomado o intervalo dT , e pode variar de ponto a ponto da curva.

Podemos escrever a diferencial de uma função contínua $z = f(x,y)$ da seguinte forma:

$$dz = M(x,y) dx + N(x,y) dy$$

onde $M(x,y) = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y$ e $N(x,y) = \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x$. Se a diferencial dz é exata, pode-se

mostrar que:

$$\int_{z_1}^{z_2} dz = z(x_2, y_2) - z(x_1, y_1) = z_2 - z_1$$

e, também, que $\oint dz = 0$. Ou seja, *a integral definida de uma diferencial exata é igual à diferença entre os valores da função nos dois limites, qualquer que seja o caminho seguido na integração*. Conseqüentemente, se os limites forem iguais (integral ao longo de um ciclo) o valor da integral será nulo.

Assim, podemos repetir, através da Matemática, as conclusões que se obtém por via indutiva, sobre a característica fundamental das propriedades termodinâmicas: *a variação de uma propriedade termodinâmica só depende dos estados inicial e final do sistema e não dos estados intermediários*.

A **integral cíclica**, segundo os docentes, é um conceito bastante utilizado em qualquer modelo que envolve energia uma vez que a somatória de todas as etapas nesse processo tem que ser igual a zero. Vejamos esse fato com maiores detalhes no exemplo a seguir.

Exemplo⁴³: A transformação de um sistema é qualquer mudança de seu estado termodinâmico, isto é, a sua conversão do estado de equilíbrio inicial (1) ao estado de equilíbrio final (2). Quando o estado final é idêntico ao estado inicial, diz-se que o sistema sofreu uma transformação cíclica. O estado de equilíbrio de um sistema pode ser representado graficamente por um ponto de um espaço n-dimensional, se n for o número de variáveis independentes ou coordenadas termodinâmicas necessárias para caracterizar os estados do sistema.

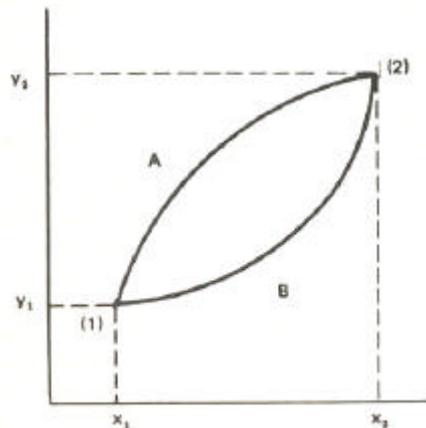
⁴³ PILLA, Luiz *Físico-Química*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1979, pp.32-35.
WHITE, J. Edmund *Physical Chemistry* Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, Orlando, Florida, 1987, pp. 55-56.

No caso de um sistema cujos estados podem ser descritos por duas variáveis apenas (x,y) , cada estado pode ser representado por um ponto no plano e uma transformação consiste na mudança de estado:

$$\text{estado inicial } (x_1, y_1) \rightarrow \text{estado final } (x_2, y_2)$$

Um *processo* (maneira pela qual o sistema evolui entre os dois estados) *reversível* (processo constituído de uma sucessão de estados de equilíbrio que se rompem e se refazem continuamente) pode ser representado por meio de um diagrama de estado, pois somente estados de equilíbrio podem ser descritos pelas variáveis de estado.

Figura 2



Na figura 2 são representados dois processos reversíveis, A e B, entre os mesmos estados extremos (1) e (2). Percebe-se que as curvas A e B são o lugar dos pontos representativos dos estados de equilíbrio percorridos pelo sistema entre os estados inicial e final de equilíbrio.

Em um processo cíclico, o sistema muda do estado (1) para o estado (2) e então retorna para o estado (1). Qualquer propriedade de um sistema que não gera mudança em um processo cíclico é denominada de *função de estado*, pois seu valor é uma função apenas do estado do sistema. Uma outra maneira de expressar a definição de uma função de estado

é dizer que a integral cíclica de uma função de estado é igual a zero, ou seja, $\oint dE = 0$, onde E é a energia interna de um sistema.

Os conceitos de **diferencial parcial** e **total** são também necessários no estudo de Termodinâmica para saber, por exemplo, como a energia livre de Gibbs varia com a pressão e temperatura, como podemos ver através da expressão:

$$dG = - SdT + V dP$$

onde G é a *energia livre*⁴⁴ de Gibbs, T é a temperatura, P é a pressão, V é o volume e S a entropia⁴⁵.

A **Estatística**, segundo os químicos docentes, é utilizada praticamente por todos os químicos, tanto durante a etapa de tratamento de resultados experimentais quanto à de coleta de dados. As técnicas de **Estatística** são cada vez mais solicitadas para a avaliação da qualidade dos dados obtidos experimentalmente e para o “desenho” de experimentos baseados nos modernos conceitos da Quimiometria⁴⁶.

Com a sofisticação crescente das técnicas instrumentais, impulsionada pela invasão de microprocessadores e microcomputadores no laboratório químico, tornaram-se necessários tratamentos de dados mais complexos do ponto de vista matemático e estatístico, a fim de relacionar os

⁴⁴ energia livre (G) – quantidade termodinâmica que mede a energia de um sistema que é útil para realizar trabalho que não seja trabalho de expansão.

⁴⁵ A entropia mede a desordem de um sistema.

⁴⁶ A **Quimiometria** é uma área que se refere à aplicação de métodos estatísticos e matemáticos, assim como aqueles baseados em lógica matemática, à problemas de origem química.

sinais obtidos (intensidades, por exemplo) com os resultados desejados (concentrações).

As análises quantitativas que eram realizadas na maioria das vezes por “via úmida” como titulação, precipitação e reações específicas, que são demoradas e muitas vezes pouco precisas, estão cada vez mais sendo substituídas por técnicas instrumentais como: Ressonância Magnética Nuclear, Espectroscopia no Infravermelho, Espectroscopia no visível/ultravioleta, Espectroscopia de Massa, Cromatografia, Polarografia, Análise por Injeção em Fluxo, etc., que aliam a velocidade de análise com uma boa qualidade de resultados. Nessas técnicas instrumentais não é obtida uma informação direta do resultado, mas sim uma grande quantidade de sinais (curvas, picos) que podem ser tratados para uma possível quantificação das várias espécies presentes.

Muita ênfase tem sido dada aos sistemas multivariados, nos quais se podem medir muitas variáveis simultaneamente, ao se analisar uma amostra qualquer. Nesses sistemas, a conversão da resposta instrumental no dado químico de interesse, requer a utilização de técnicas de estatística multivariada, álgebra matricial e análise numérica. Essas técnicas se constituem, no momento, na melhor alternativa para a interpretação de dados e para a aquisição do máximo de informação sobre o sistema.

De todos os ramos da química clássica, talvez a química analítica tenha sido a mais afetada pelo desenvolvimento recente da instrumentação química associada a computadores. De fato, a “Chemometrics Society”, organização internacional dedicada ao uso e desenvolvimento de

métodos em Quimiometria, é composta principalmente por químicos interessados em problemas analíticos. Atualmente é muito raro se encontrar qualquer periódico respeitável sobre pesquisas em química analítica, que não traga artigos reportando dados obtidos com o auxílio de microcomputadores, ou tratados por matemática multivariada ou métodos estatísticos, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade dos resultados ou facilitar a sua interpretação⁴⁷.

⁴⁷ Texto extraído do site <http://lagga.igq.unicamp.br/quimiometria.htm>