

CONCEPÇÕES DE ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS SOBRE OS CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE QUÍMICA ORGÂNICA

CONCEPTIONS FROM UNIVERSITY STUDENTS ABOUT ORGANIC CHEMISTRY FUNDAMENTAL CONCEPTS

Júlia Belinaso¹

Shirley Martim da Silva^{1,2}, Marcelo L. Eichler^{1,2,3}, Tania D. Miskinis Salgado^{1,4},
José Claudio Del Pino^{1,2,5}

¹UFRGS/Área de Educação Química – Instituto de Química, juliabelinaso@yahoo.com.br

²UFRGS/ PPG Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Shirley@iq.ufrgs.br

³UFBA/ Departamento de Química Geral e Inorgânica – Instituto de Química, exlerbr@yahoo.com.br

⁴UFRGS/ Departamento de Físico-Química – Instituto de Química, tania.salgado@ufrgs.br

⁵UFRGS/ Departamento de Química Inorgânica – Instituto de Química – delpinojc@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a investigação das concepções dos estudantes universitários sobre os conceitos fundamentais na área de Química Orgânica através da aplicação de um questionário na disciplina de Química Orgânica II, oferecida no 4º semestre dos cursos de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A partir da análise das respostas das questões sobre reações de substituição nucleofílica e reações de eliminação bimolecular, pode-se investigar o que estes estudantes compreendem a respeito de grupos de saída em reações de substituição nucleofílica e estereoespecificidade na formação de alcenos, bem como a habilidade de expressar as respostas na forma escrita. Observou-se que, embora reconheçam os mecanismos de reações químicas, os estudantes apresentam dificuldades em expor, na forma escrita, as explicações para a ocorrência destes mecanismos pela utilização da linguagem característica desta área de conhecimento.

Palavras-chave: concepções de estudantes, educação superior, química orgânica.

Abstract

The purpose of the present paper is to investigate the conceptions university students have about fundamental concepts in the Organic Chemistry area through the application of a questionnaire for the subject of Organic Chemistry II in the 4th semester of the Chemical courses at the Federal University of Rio Grande do Sul. By analyzing the answers to the questions on nucleophilic substitution reactions and bimolecular elimination reactions, it is possible to investigate what those students understand about nucleophilic substitution leaving groups and stereospecificity in the formation of alkenes, as well as the ability to express the answers in written form. It was noted that, although they understand chemical reaction mechanisms, students had difficulty to expose in writing the explanations for the occurrence of those mechanisms through the use of the characteristic language from this field of knowledge.

Keywords: student conceptions, higher education, organic chemistry

Introdução

O inventário e a análise das concepções alternativas de estudantes universitários acerca de conceitos fundamentais à química tem sido uma vertente de nossas pesquisas (SILVA *et. al*, 2005; 2007). Geralmente, pesquisas dessa natureza enfatizam o estudo das concepções dos estudantes em início de curso universitário, evidenciando as dificuldades de compreensão de conceitos fundamentais que serão aprofundados ao longo do curso superior, em disciplinas das subáreas da química, tais como físico-química, química analítica, química inorgânica e química orgânica. Em outro artigo, abordamos as concepções dos estudantes para conceitos de físico-química (BELINASO *et. al*, 2008), neste artigo, o foco são conceitos de química orgânica.

De acordo com Roque e Silva (2008), essa área é pouco investigada e sugerem que para uma compreensão efetiva é necessário no processo de estruturação conceitual estudar e compreender o significado das diferentes representações moleculares, entre outros. Nesse artigo, os autores constataram que esses significados são pouco apresentados aos alunos e minimamente discutidos em sala de aula durante os cursos de química orgânica no ensino superior. Isso ocorra, talvez, pelo fato de serem considerados modelos já apreendidos pelos estudantes durante o ensino médio ou serem simplesmente ignorados como fatores necessários para a apropriação de uma linguagem específica e adequada da química orgânica.

Esses autores apontam, também, algumas dificuldades apresentadas pelos estudantes em relação à utilização e a interpretação da linguagem química. Muitas vezes, isso está relacionado às representações simbólicas, as quais os alunos têm dificuldade em diferenciar os significados, provavelmente fruto de um ensino caracterizado pela memorização de nomes e símbolos.

Em função do exposto, Rodrigues (2001) destaca que professores de química orgânica do nível superior têm observado nos estudantes ingressantes na universidade muita desinformação e obstáculos que são persistentes à mudança.

É preciso salientar que os principais manuais didáticos de química orgânica do ensino médio - e em alguns para o ensino superior -, que são refletidas na forma como é ministrada essa disciplina, apresentam uma abordagem baseada nas funções orgânicas (TEIXEIRA e HOLMAN, 2008). Nessa estrutura, o livro ou o professor, inicialmente, apresenta uma função, segue com nomenclatura, depois sua obtenção e finaliza com as reações químicas, seguindo para a próxima função, onde se repete o processo. Essa maneira clássica de se abordar a química orgânica não privilegia a integração conceitual. Por outro lado, uma abordagem realizada através dos mecanismos de reações permitiria um processo de integração. Nessa abordagem, pode-se detalhar os passos ou as etapas da reação, identificar as estruturas orgânicas, caracterizar o caminho reacional e, também, as principais funções orgânicas e grupamentos funcionais (MARQUES, EICHLER E DEL PINO, 2006).

Por outro lado, segundo Mariano *et. al* (2008), o ensino dos mecanismos de reação orgânica é bastante complexo e se constitui como fator desafiante na aprendizagem dos estudantes, inclusive de pós-graduação. Além disso, temas relacionados à estereoquímica têm sido apontados como fonte de dificuldades, uma vez que exigem a visualização e manipulação mental de estruturas moleculares no espaço. (BAKER, GEORGE E HARDING, 1998).

Há algum tempo vimos realizando estudos e atividades que busquem apoiar um processo reflexivo dos professores que atuam em disciplinas de química orgânica (MARQUES, EICHLER E DEL PINO, 2006). Tais estudos visam compreender o sentido e a lógica da organização curricular dessas disciplinas. Durante essa investigação, pôde-se observar a diversidade da organização curricular em disciplinas de química orgânica em

algumas Instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, seja em relação ao número de créditos teóricos e experimentais, seja no conteúdo programático e na seriação aconselhada para cursar a disciplina. Como se poderia esperar, a diversidade curricular está relacionada às diferenças de abordagem e tratamento dado aos tópicos da orgânica.

Na instituição em que desenvolvemos esta pesquisa (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS), as diferentes disciplinas do Departamento de Química Orgânica são oferecidas para os cursos de Química (Bacharelado, Industrial e Licenciatura), para os cursos de Engenharia (Química Materiais e Alimentos) e Farmácia. Após algumas estruturações curriculares nas disciplinas de química orgânica da UFRGS, acredita-se que as atuais propostas estão mais próximas de uma abordagem através de mecanismos de reação do que de uma abordagem clássica, baseada nas funções orgânicas, conforme encontrado na maior parte dos manuais didáticos.

O conteúdo programático das disciplinas permite evidenciar o enfoque através dos mecanismos de reação. Por exemplo, a última disciplina teórica comum aos cursos de química da UFRGS é Química Orgânica II. Trata-se de uma disciplina obrigatória, oferecida no quarto semestre dos cursos e que tem como pré-requisito a disciplina de Química Orgânica I. O conteúdo programático desenvolvido ao longo da disciplina compreende: Substituição nucleofílica em carbono saturado; Reações de eliminação; Reações de adição eletrofílica; Adição nucleofílica ao grupo carbonila; Reações de condensação; Adição a sistemas conjugados e Reações de substituição aromáticas. Posteriormente, os mecanismos de reações orgânicas estudadas na disciplina teórica serão revisados através da execução de experimentos que envolvem procedimentos de síntese.

No sentido de investigar a elaboração conceitual no âmbito do ensino superior e inventariar as dificuldades conceituais apresentadas pelos alunos, propusemos uma investigação que contemplasse tópicos da química orgânica, através de questões onde os estudantes pudessem explicitar seus conhecimentos sobre, representando e explicando-os preferencialmente a nível atômico-molecular. As questões formuladas envolviam conceitos fundamentais de alguns mecanismos clássicos de reações orgânicas, tais como reação de substituição nucleofílica e adição eletrofílica, além dos aspectos estereoquímicos, condições reacionais, entre outros.

Metodologia

No início dessa investigação, buscou-se inventariar os conceitos e as relações fundamentais à química orgânica a partir do programa das disciplinas e de uma revisão bibliográfica. Dessa forma, alguns conceitos e relações foram estabelecidos como primordiais (DEL RE, 2003; GOODWIN, 2003; KERBLER, 2002), tais como a descrição das reações de substituição nucleofílica, reações de adição e reações de eliminação, através de características que envolvem os conceitos de regioseletividade, estereosseletividade, estereoespecificidade.

Com o intuito de investigar quais são as principais concepções dos estudantes acerca desses conceitos fundamentais foi elaborado um questionário contendo quatro questões. No presente artigo são analisadas duas delas:

Questão 1.

Em relação às reações de substituição nucleofílica em haloalcanos, sob as mesmas condições, por quê a ordem de facilidade dos grupos de saída dos halogênios é $I > Br > Cl > F$? (adaptada de GOODWIN, 2003).

Questão 4.

Sobre a estereoespecificidade na formação de alcenos, por quê um determinado estereoisômero é exclusivamente produzido em relação ao outro ou a mistura dos dois? Explique porque a reação entre o (2S,3R)-2-bromo-3-fenilbutano e o hidróxido de potássio alcoólico forma apenas o (Z)-2-fenil-2-buteno. (adaptada de GOODWIN, 2003).

O questionário foi submetido a duas turmas de Química Orgânica II, nos semestres de 2007/2 e 2008/1, compondo um total de 37 alunos. Os questionários foram aplicados próximo ao final do semestre, possibilitando que o conteúdo programático fosse todo desenvolvido. Os estudantes dispunham de aproximadamente vinte minutos para responder o questionário.

A análise do conjunto de dados coletados foi realizada mediante digitação de todas as respostas, que posteriormente foram agrupadas em categorias conforme a semelhança. A seguir, estas categorias foram analisadas conforme as discussões e proposições conceituais e filosóficas dos artigos utilizados na elaboração das questões (DEL RE, 2003; GOODWIN, 2003; KERBLER, 2002) e de acordo com a abordagem conceitual e as propostas didáticas dos principais manuais recomendados pelos professores da área (ALLINGER, 1990; MORRISON, 1992; SOLOMONS, 2001; VOLHARDT, 2004)

Resultados e discussões

Análise da questão 1:

As reações de substituição nucleofílica, SN1 e SN2, ocorrem quando uma espécie que contém um par de elétrons não compartilhados (nucleófilo) reage com um haleto de alquila (substrato) deslocando o seu halogênio. De acordo com Solomons (1982) o efeito do grupo retirante e/ou de saída, nas reações SN1 e SN2 é o mesmo: os iodetos de alquila reagem com rapidez mais elevada e os fluoretos reagem com menor rapidez.

Nessa questão, a única variação nas condições das reações que estão sendo comparadas é o halogênio que está sendo deslocado. Desta forma, a explicação da ordem de saída dos grupos depende da identificação da capacidade do grupo de acomodar carga negativa. Nos halogênios, esta capacidade pode ser explicada em função do volume do átomo, onde átomos mais volumosos acomodam melhor a carga eletrônica (GOODWIN, 2003). A substituição nucleofílica só ocorre quando o grupo a ser deslocado, neste caso um halogênio, leva consigo o par de elétrons da ligação carbono-halogênio (VOLHARDT, 2004).

Segundo Solomons (1982), um bom grupo de saída deve ser relativamente estável e fracamente básico, pois a estabilização da carga negativa contribui para estabilizar o estado de transição, aumentando a velocidade da reação. De acordo com Goodwin (2003) as reações de substituição onde o iodo é deslocado terão menor energia do estado de transição, visto que o iodo possui maior capacidade de acomodar cargas negativas.

Conforme Goodwin (2003) espera-se que o aluno identifique que a capacidade de saída do grupo está relacionada com a capacidade do mesmo de acomodar a carga eletrônica. No caso dos halogênios, quanto maior a capacidade de acomodar a carga negativa, mais estável será o produto formado. Outro fator a ser considerado, além do tamanho do átomo, é a eletronegatividade dos halogênios, visto que os menos eletronegativos farão ligações mais fracas com o substrato e serão deslocados com maior facilidade.

As respostas dos alunos foram categorizadas de acordo com a complexidade conceitual da seguinte forma:

Categoria A – respostas incoerentes, sem justificativas, apenas apresentando os conceitos químicos sem explicá-los.

Exemplos:

- a) “Devido a polarizabilidade e raio atômico”.
- b) “Devido à ordem de eletronegatividade”.

Categoria B – respostas que enfatizam pelo menos um conceito químico, não necessariamente definindo-o, ou utilizando linguagem adequada ou estabelecendo relações eficazes.

Exemplos:

- a) “Por causa da eletronegatividade da série. Quanto menos eletronegativo o elemento, mais fácil é retirá-lo da cadeia”.
- b) “Há um aumento na facilidade da substituição nucleofílica em halogênio alcanos quanto maior for a polarizabilidade do halogênio. O iodo é mais polarizável que o flúor, logo tem mais facilidade. A reação ocorre via SN2, que é favorecida com a polarização”.

Categoria C – respostas que pontuam até dois conceitos para explicar o solicitado, não necessariamente definindo-os, ou utilizando linguagem adequada ou estabelecendo relações eficazes.

Exemplos:

- a) “A ordem de saída dos halogênios deve-se a sua eletronegatividade. Entre os halogênios, o I é menos eletronegativo e muito mais volumoso, o que facilita a saída. Seguindo a ordem do grupo, quanto menor o átomo e mais eletronegativo mais difícil é a sua saída frente ao ataque Nu”.
- b) “Devido à eletronegatividade que cresce em ordem oposta à ordem de facilidade dos grupos de saída halogênios, que aumenta a força de ligação halogênio-carbono e dificulta a substituição nucleofílica”.

Categoria D – respostas que apresentam até três conceitos para explicar a preferência por determinado grupo de saída, não necessariamente estabelecendo relações adequadas entre estes.

Exemplos:

- a) “O F é o ‘último colocado’ porque é o mais eletronegativo e possui o menor raio. Assim, ele faz uma ligação muito forte com o carbono, fazendo com que as reações de substituição nucleofílica fiquem mais difíceis. Conforme aumenta o raio do halogênio, aumenta a facilidade de saída do grupo”.
- b) “A ordem de saída é essa, pois os elétrons da última camada estão mais disponíveis (menos atraídos pelo núcleo). Essa ‘maior disponibilidade’ dos elétrons de valência é devido ao tamanho dos átomos, quanto maior for o átomo, mais afastado estarão os elétrons de valência do núcleo, e menor será a força de atração que o núcleo exercerá sobre esses elétrons”.

Categoria E – respostas com amplo enredamento conceitual, apresentando relações adequadas entre os conceitos apresentados.

Exemplos:

- a) “Devido à força da ligação entre o carbono e o halogênio e sua polaridade. Como o flúor é o elemento mais eletronegativo e tem seus elétrons de valência em camada mais próxima ao núcleo, seus orbitais estão melhor sobrepostos com os do carbono o que o torna mais fortemente ligado ao carbono. Sua acidez também é maior. Já o

iodo é melhor grupo de saída devido à sua grande polarizabilidade (facilidade de “acomodar” os elétrons) e à sobreposição pouco efetiva de orbitais”.

- b) “A ordem de facilidade como grupos de saída dos halogênios tem a ver com o tamanho do átomo e a dispersão eletrônica. Quanto maior o átomo (ou íon) mais dispersa está sua densidade eletrônica e, portanto, menor a sobreposição entre os seus orbitais ligantes com os orbitais ligantes do outro átomo, e maior facilidade de romper a ligação entre eles”.

Tabela 1: Distribuição das respostas entre as categorias.

Categoria	Nº de respostas	%
A	6	16,2
B	5	13,5
C	13	35,1
D	8	21,6
E	4	10,8
Não respondeu	1	2,7

Na categoria *A* pode-se observar que embora alguns estudantes reconheçam os conceitos envolvidos na explicação da ordem de facilidade dos grupos de saída, estes conceitos aparecem indiferenciados, sem um esclarecimento de como influenciam nas reações de substituição nucleofílica. Nas categorias *B* e *C* observa-se que os estudantes pontuam os conceitos que consideram mais importantes e discorrem de forma simples, fazendo apenas constatações sobre a influência deles na ordem de facilidade dos grupos de saída.

Analisando as categorias *D* e *E* observa-se, por fim, que os estudantes passam a fazer relações entre os conceitos utilizados, explicando de forma adequada a ordem para a saída dos halogênios nas reações de substituição nucleofílica. Nas respostas da categoria *D* é possível interpretar a totalidade das explicações propostas pelos estudantes, mas nas respostas da categoria *E* pode-se observar uma sofisticação no enredamento conceitual apresentado, onde os estudantes demonstram um maior domínio na enunciação dos conceitos de descrição e de justificação do fenômeno que faz parte da questão proposta.

As dificuldades que alguns estudantes (categorias *A*, *B* e *C*) apresentam quando necessitam escrever sobre determinado fenômeno podem estar relacionadas à falta do exercício da escrita na sala de aula. Para descrever e explicar os fenômenos, o estudante deve repensar e reorganizar as suas idéias, para posteriormente expô-las. Dessa forma, quando os professores focalizam suas aulas apenas para a assimilação de conceitos por parte dos alunos, estimulando a execução de cálculos, deixa-se de lado a importância do exercício da linguagem escrita, agravando a dificuldade deles em comunicarem suas idéias sobre determinados conceitos (QUEIROZ, 2001).

A Tabela 2 apresenta as principais inter-relações conceituais estabelecidas pelos estudantes para explicar a ordem de reatividade dos haloalcanos frente a uma reação de substituição.

Tabela 2: Principais inter-relações conceituais presentes nas respostas dos alunos.

Relações adequadas	Nº de alunos	%
Eletronegatividade	3	8,1
Eletronegatividade versus raio atômico	3	8,1
Eletronegatividade versus força de ligação	5	13,5
Eletronegatividade versus polarizabilidade	2	5,4
Raio atômico versus polarizabilidade	2	5,4
Raio atômico versus força de ligação	1	2,7
Raio atômico versus base fraca	1	2,7
Base fraca	2	5,4
Eletronegatividade versus raio e força de ligação	3	8,1
Polarizabilidade	1	2,7
Raio atômico versus polarizabilidade, eletronegatividade e força de ligação	1	2,7
Força de ligação versus polarizabilidade e eletronegatividade	1	2,7
Raio atômico	1	2,7
Total	26	70,3

Relações inadequadas	Nº de alunos	%
Eletronegatividade	2	5,4
Eletronegatividade versus raio atômico	1	2,7
Raio atômico versus polarizabilidade	1	2,7
Raio atômico versus força de ligação	1	2,7
Raio iônico	1	2,7
Polarizabilidade	1	2,7
Efeito indutivo versus eletronegatividade e força de ligação	1	2,7
Raio atômico versus eletronegatividade, polarizabilidade e efeito indutivo	1	2,7
Orbitais moleculares	1	2,7
Total	10	27,0

Não respondeu	1	2,7
----------------------	----------	------------

Segundo Paiva (2009) para o entendimento da reatividade dos compostos orgânicos, alguns conhecimentos são essenciais, onde destacam-se: a eletronegatividade, a acidez e basicidade segundo a definição de Lewis, noções de nucleofilia e eletrofilia, a polarizabilidade, bem como o uso adequado das setas e curvas na representação dos mecanismos e dos tipos de reações dos compostos orgânicos.

Na questão proposta, a polarizabilidade é essencial para a explicação adequada e com maior enredamento conceitual. A ordem de facilidade dos grupos de saída dos halogênios segue a ordem $I > Br > Cl > F$ devido ao volume atômico e a energia de ionização. Por exemplo, o iodo por ser o mais volumoso da série é facilmente substituído quando existem outros radicais orgânicos no meio reacional. A nuvem eletrônica do iodo é muito grande e facilmente polarizável, podendo, portanto, ser retirado para a entrada de outros grupos na molécula. A polarizabilidade é a medida do grau de distorção da nuvem eletrônica de um determinado átomo frente à influência do núcleo de outro átomo ligante. A diferença de eletronegatividade entre o carbono e o halogênio desloca a densidade eletrônica da ligação C-X (carbono-halogênio) na direção de X (VOLHARDT, 2004). A polarizabilidade influencia também o comportamento químico de um átomo, então devido a maior polarizabilidade do iodo, em relação aos outros halogênios, a ligação carbono-iodo se comporta como se fosse uma ligação polar.

Outro fator a ser considerado é o valor da energia de ionização. Nos halogênios esse valor decresce a medida que aumenta o raio atômico dos elementos, pois em átomos maiores o elétron mais externo ocupa uma camada mais afastada do núcleo, estando menos fortemente ligado a ele (ATKINS E JONES, 2001). A energia de ionização do flúor é consideravelmente maior que a dos outros elementos do grupo em consequência do seu menor raio e da maior atração exercida pelo núcleo sobre os elétrons e por causa da repulsão entre seus pares eletrônicos não ligantes. Essa repulsão é, em grande parte, responsável pela grande reatividade do flúor.

A partir das inter-relações conceituais realizadas pelos alunos, apresentadas na Tabela 2, observa-se que a maioria dos estudantes (70,3%) faz relações adequadas entre os conceitos considerados como essenciais para explicar a diferença na facilidade de saída dos halogênios nas reações de Substituição Nucleofílica. Esses alunos fazem referência principalmente ao conceito de eletronegatividade, apresentando-o como base para o desenvolvimento da resposta. O entendimento deste conceito é importante, pois a partir da diferença de eletronegatividade de dois átomos justifica-se a deslocalização da nuvem eletrônica, ou seja, a polarizabilidade (PAIVA, 2009), conceito também abordado por alguns dos estudantes.

Foram classificadas como relações inadequadas as respostas que não apresentaram justificativas ou com justificativas que abordam conceitos inadequados para explicar a influência da saída do halogênio nas reações de substituição nucleofílica. Observa-se em duas respostas a justificativa da questão baseada no efeito indutivo provocado pelo halogênio. No entanto, o efeito indutivo, apesar de estar relacionado com a eletronegatividade dos átomos, não é uma justificativa adequada. O efeito indutivo provocado por átomos de diferentes eletronegatividades irá provocar a deslocalização da nuvem eletrônica (VOLHARD, 2004). Essa deslocalização influenciará na estabilidade do intermediário carbocátion formado nas reações de substituição nucleofílica unimolecular (SN_1), ou seja, átomos mais eletronegativos que o carbono (como os halogênios) apresentarão um efeito indutivo retirador de elétrons, o que provocará uma desestabilização do intermediário.

Embora a maioria dos estudantes reconheça os conceitos envolvidos na facilidade de saída de um halogênio nas reações de substituição nucleofílica, ao analisarmos a forma com que eles formulam suas respostas (Tabela 1) observa-se que os estudantes apresentam dificuldades. As dificuldades em formular respostas completas, com um enredamento conceitual adequado podem estar vinculadas a forma como estes estudantes são ensinados, ou seja, com pouco estímulo ao desenvolvimento da linguagem escrita nos cursos de química (QUEIROZ, 2001).

Análise da questão 4.

A estereoespecificidade na formação de alcenos por eliminação ocorre quando o haloalcano do qual o haleto de hidrogênio deve ser removido tem estereocentros adjacentes. Nesses casos, sob determinadas circunstâncias, um dos estereoisômeros do alceno será formado exclusivamente, que não necessita ser o estereoisômero termodinamicamente mais estável (GOODWIN, 2003).

O mecanismo das reações de eliminação bimolecular (E_2) ocorre em uma única etapa. Três mudanças ocorrem simultaneamente (processo concertado): 1. desprotonação pela base; 2. eliminação do grupo de saída; 3. reibridização dos átomos de carbono envolvidos para formar os dois orbitais p da ligação dupla (VOLHARDT, 2004). A estrutura mais adequada para o estado de transição da eliminação é aquela em que os grupos de saída encontram-se em posição anti (em lados opostos da molécula), um em relação ao outro, pois desta maneira, o orbital sp^3 do carbono ligado ao hidrogênio e o orbital sp^3 do carbono ligado ao halogênio se tornam orbitais p sobrepostos no alceno obtido. Desta forma, para que a reação ocorra, é

necessário que aconteça a rotação da ligação σ C-C, a fim de proporcionar a conformação desejada.

De acordo com Bruice (2006), se o carbono do qual um hidrogênio for removido estiver ligado a apenas um hidrogênio, existe somente uma conformação na qual os grupos de saída estão em posição anti. Portanto, apenas um alceno pode ser formado. Sendo assim, chega-se a conclusão que os isômeros (R,R) e (S,S) formam exclusivamente o isômero (E) do alceno, enquanto os isômeros (R,S) e (S,R) formam apenas o isômero (Z).

A questão levada aos alunos, portanto, pretende evidenciar como eles compreendem a reação de eliminação na formação de alcenos a partir de um haloalcano que contém os grupos de saída em estereocentros diferentes. Então, para responder com sucesso a questão, deve-se reconhecer a estrutura do haloalcano, onde existe apenas um próton que poderá ser removido. Também, é preciso identificar a configuração dos estereocentros e, através, do mecanismo de reação justificar a estereoespecificidade.

As respostas foram categorizadas de acordo com a complexidade conceitual da seguinte forma:

Categoria A - respostas incoerentes, sem justificativas, apenas apresentando os conceitos químicos sem explicá-los.

Exemplos:

- “Porque o composto meso se cancela”.
- “Por causa do impedimento estérico neste caso”.

Categoria B – respostas com explicações simples e/ou com relações inadequadas entre conceitos.

Exemplos:

- “A estereoespecificidade está de acordo com o tipo de reação. Reações de SN1 formam mistura racêmica e em reações de SN2 podem formar um exclusivamente em relação ao outro”
- “Percebe-se, pela estrutura do composto, que só há esta possibilidade, tendo em vista que é uma eliminação vicinal”.

Categoria C – respostas que abordam a posição antiperiplanar dos grupos de saída, ou seja, grupos em lados opostos da molécula como justificativa para a estereoespecificidade na formação de alcenos.

Exemplos:

- “Dependendo da molécula que está sendo formada, o ataque só pode ocorrer de uma maneira. Pois a posição de eliminação aí, só permite que saia o Br e o H que estão em posição anti, fazendo que haja apenas um produto formado”.
- “Porque esta reação só ocorre quando os substituintes encontram-se na posição anti-planar”.

Categoria D - respostas que abordam a posição antiperiplanar dos grupos de saída justificando através da posição dos orbitais p dos carbonos sp^3 .

Exemplo:

- “Para ocorrer a formação do alceno o bromo e o hidrogênio a ser removido devem estar em posição antiperiplanar para que os orbitais p dos carbonos sp^3 ligados a eles possam interagir para formar a ligação π ”.

Tabela 3: Distribuição das respostas entre as categorias.

Categoria	Nº de respostas	%
A	8	21,6
B	10	27,0

C	8	21,6
D	1	2,7
Não respondeu	10	27,0

Um composto meso é aquele que possui dois ou mais centros quirais com substituintes idênticos nestes centros, cuja estrutura se superpõe a sua imagem no espelho (VOLHARDT, 2004). No caso da reação proposta na questão, o composto estudado não possui substituintes idênticos e, desta forma, utilizar-se da justificativa de que o composto meso se cancela, é uma forma inadequada de responder a questão. Neste caso, também, não há influência do impedimento estérico, ou seja, dos grupos volumosos presentes no sítio da reação, como aparece em um exemplo da categoria A. Desta forma, percebe-se que os estudantes não compreendem o mecanismo da reação proposta e se utilizam de outros conceitos estudados ao longo do curso para tentar compor uma justificativa para a estereoespecificidade na formação de alcenos.

Nas respostas da categoria B se percebe que os estudantes não justificam a formação de apenas um estereoisômero, apenas constatam que só há esta possibilidade de reação. A falta de argumentação demonstra o não entendimento de como o mecanismo se processa. No exemplo *a* da categoria B percebe-se que o estudante não tem conhecimento do mecanismo adequado para a reação proposta, visto que apresenta uma comparação entre os mecanismos de substituição nucleofílica. Dessa forma, mais uma vez, evidencia-se que muitos estudantes estão se utilizando da memorização dos fenômenos e, por isso, demonstram dificuldades em explicá-lo.

Nas respostas das categorias C e D se observa que os estudantes passam a argumentar a estereoespecificidade a partir da posição antiperiplanar dos grupos de saída. No entanto, a compreensão da justificativa da necessidade dos grupos de saída estar nessa posição é observada apenas em uma resposta. Dessa forma, novamente, verifica-se a dificuldade que os estudantes encontram em fazer relações entre os conceitos para explicar um determinado mecanismo de reação química.

Considerações finais

Neste trabalho, buscou-se mostrar e analisar as concepções dos estudantes universitários sobre conceitos fundamentais à química orgânica. Observou-se que, embora reconheçam os mecanismos de reações químicas, os estudantes apresentam dificuldades em expor, na forma escrita, as explicações para a ocorrência destes mecanismos pela utilização da linguagem característica desta área de conhecimento.

Nesse sentido, supõe-se que, em muitos casos, as abordagens realizadas em sala de aula não enfatizam a exposição das idéias através da linguagem escrita. Dessa forma quando os estudantes são solicitados a escrever sobre determinado fenômeno, eles apresentam dificuldades (QUEIROZ, 2001).

Segundo diretrizes curriculares para os cursos de química (ZUCCO, PESSINE & ANDRADE, 1999), o profissional de química, seja ele bacharel ou licenciado, deve saber se comunicar corretamente, apresentando eficientemente os seus projetos e os resultados de pesquisa, tanto na linguagem oral quanto escrita. Portanto, destaca-se a importância do constante exercício dessas habilidades ao longo dos cursos de graduação.

Alguns autores, por exemplo, têm apresentado propostas do uso de artigos científicos como forma de estimular a leitura e a escrita nos cursos de nível superior (SANTOS, SÁ & QUEIROZ, 2006). Estas propostas podem trazer elementos capazes de provocar o desenvolvimento de habilidades pouco exploradas na formação de graduandos de química (MASSI *et. al.*, 2009).

Por fim, enfatiza-se a necessidade de investigar essas concepções alternativas e retornar os resultados para a sala de aula. Investigações dessa natureza possibilitam o reconhecimento por parte dos professores das dificuldades apresentadas por seus alunos e contribui para que se desenvolvam estratégias capazes de contornar essas dificuldades, contribuindo para o enriquecimento da compreensão dos conceitos fundamentais da química.

Referências

ALLINGER, N. L. et al; **Química Orgânica**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara dois, 1990.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BARKER, V. Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas. Londres. Disponível em:
<http://www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm>. Acesso em: 15 ago, 2005.

BAKER, R. W.; GEORGE, A.V. E HARDING, M. M. Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. **Journal of Chemical Education**, v. 75, n. 7, p. 853. 1998.

BRUICE, P. Y. **Química Orgânica**. 4 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

BELINASSO, J.; SILVA, S. M.; EICHELER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. Concepções alternativas de estudantes universitários sobre os conceitos fundamentais na área de físico-química. In: ENCONTRO DE DEBATES SOBRE ENSINO DE QUÍMICA, 28, 2008, Canoas, RS. **Anais do 28º EDEQ: Química da Terra e para a Terra: Educação e Tecnologia**, Canoas: ULBRA, 2008. p. 309-319.

DEL RE, G. Reaction mechanisms and chemical explanation. **Annals New York Academy of Sciences**. v. 988, p. 133-140. 2003.

GOODWIN, W. Explanation in Organic Chemistry. **Annals New York Academy of Sciences**. v. 988, p. 141-153. 2003.

KERBLER, R. C. Markovnikov's rule in history and pedagogy. **Foundations of Chemistry**. v. 4. p. 61-72. 2002.

MARIANO, A.; VENTURA, E.; MONTE, S. A.; BRAGA, C. F.; CARVALHO, A. B.; ARAUJO, R. C. M. U.; SANTANA, O. L. O ensino de reações orgânicas usando química computacional: I. Reações de adição eletrofílica a alquenos. **Química Nova**. V. 31, n. 5, p. 1243-1249, 2008.

MARQUES, C. R.; EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. Um estudo sobre a organização curricular das disciplinas do curso de química da Ufrgs . In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18, 2006, Porto Alegre, RS. **Resumos do XVIII SIC**, Porto Alegre: UFRGS, 2006. p. 805-806.

MASSI, L.; SANTOS, G. R.; FERREIRA, J. Q.; QUEIROZ, S. L. Artigos científicos como recurso didático no ensino superior de química. **Química Nova**, v. 32, n.2, p. 503-510, 2009.

MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. **Organic Chemistry**, 6th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

MUROV, S. Reaction-Map of Organic Chemistry. **Jornal of Chemical Education**, v. 84, n.7, p. 1224, 2007.

PAIVA, A. P. Características e reatividade dos compostos orgânicos. Portugal. Disponível em: <http://www.spq.pt/boletim/docs/BoletimSPQ_092_047_09.pdf>. Acesso em 22 abr, 2009.

QUEIROZ, S. L. A linguagem escrita nos cursos de graduação em química. **Química Nova**, v. 24, n. 1, p. 143-146, 2001.

RODRIGUES, J. A. R. Recomendações da IUPAC para nomenclatura de moléculas orgânicas. **Química Nova na Escola**, n. 13, p. 22-28, 2001.

ROQUE, N. F., SILVA, J. L. P. B. A Linguagem Química e o ensino da química orgânica. **Química Nova**, v. 31, n. 4, p. 921-923, 2008

SANTOS, G. R.; SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. Uso de artigos científicos em uma disciplina de físico-química. **Química Nova**, v. 29, n. 25, p. 1121-1128, 2006.

SILVA, S. M.; MARQUES, P. L.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. Concepções alternativas de calouros de química para os estados de agregação da matéria, solubilidade e a expansão térmica do ar. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru, SP. **Anais do V ENPEC**, Bauru: Abrapec, 2005. p. 145.

SILVA, S. M.; MORAIS, L.; EICHLER, M. L.; SALGADO, T. D. M.; DEL PINO, J. C. Concepções alternativas de calouros de química para os conceitos de termodinâmica e equilíbrio químico. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6, 2007, Florianópolis, SC. **Anais do VI ENPEC**, Florianópolis: Abrapec, 2007.

SOLOMONS, T. W. G.; **Química Orgânica**. 1 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

SOLOMONS, T. W. G.; **Química Orgânica**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TEIXEIRA, J.; HOLMAN, R. W. A simple assignment that enhances students' ability to solve organic chemistry synthesis problems and understand mechanisms. **Journal of Chemical Education**. v. 85, n. 1, p. 88-89. 2008.

VOLHARDT, K. PETER, C. **Química orgânica: estrutura e função**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

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