



## LEVANTAMENTO DE ALGUNS ASPECTOS OBSERVADOS NO EXAME NACIONAL DE CURSOS NAS QUESTÕES RELACIONADAS À ÁREA DE FÍSICO-QUÍMICA

**Eduardo F. Silva, Patrícia L. Nunes, Maria da Graça V. Sesso e Moilton R. F. Júnior**  
Universidade Federal de Uberlândia - Avenida João Naves de Ávila, 2160 38408 100 –  
Santa Mônica – Uberlândia - Minas Gerais- moilton@ufu.br

***Resumo:** O Exame Nacional de Cursos também conhecido como “Provão” tem sido aplicado aos alunos dos cursos de Engenharia Química dentre outros, desde o ano de 1997. Até então, foram aplicados cinco exames para engenheiros químicos.*

*Critérios e diretrizes são estabelecidos por uma comissão específica de Eng. Química composta por especialistas da área e que são divulgados através de material informativo publicado pelo Ministério da Educação. As provas são compostas de dez questões com os seguintes conteúdos predominantes: Fenômenos de Transporte, Físico-Química, Operações Unitárias (e Reatores) e Processos Químicos. A comissão elabora e corrige as provas a cada ano.*

*Neste trabalho, uma análise é feita com respeito à área de Físico-Química que envolve, além de outros, conteúdos de termodinâmica que estão quase sempre associados à estequiometria, processos e balanços de massa e energia.*

*Procedeu-se em avaliar as questões de cada Exame que estavam mais, intrinsecamente, relacionadas aos conteúdos supracitados. A avaliação tem caráter construtivo e visa promover discussões para o crescimento qualitativo do instrumento de avaliação. Aspectos concernentes a: abrangência de conteúdo, interpretação de resultados, profundidade explorada, aplicações técnicas, conceitos e problemas de origem técnica de questões foram apontados. Reflexões e futuras discussões poderão catalisar a otimização do Exame Nacional de Cursos.*

**Palavras-chave:** Exame Nacional de Cursos, ensino, engenharia.

### 1. INTRODUÇÃO

O Exame Nacional de Cursos chega ao sétimo ano para os cursos de Engenharia Química. A preocupação das instituições públicas e privadas, e, mais especificamente dos profissionais que nela atuam, tem sido crescente no sentido de preparar seus graduandos para o exame. A proposta de inclusão da nota do exame nacional de cursos no histórico escolar é um canal que se abre no sentido de criar uma maior responsabilidade e interesse dos graduandos em elevar o conceito do curso.

Considerando que este instrumento de avaliação está caminhando para sua efetiva consolidação, ou seja, continuar com esta política deve ser meta dos próximos governos, é



que entendemos que uma reflexão relativa aos aspectos técnicos pedagógicos vem contribuir de forma positiva.

Neste trabalho, até duas questões de cada prova já realizada e que possui conteúdo relacionado à Físico-Química, foram escolhidas para se efetuar a avaliação proposta. A análise visa levantar discussões dentro dos seguintes aspectos:

- abrangência do conteúdo
- interpretação dos resultados
- profundidade do conteúdo que foi explorada
- problemas envolvendo : clareza do enunciado da questão, conceitos estudados e outros assuntos relativos às provas e que enriquecem este trabalho.

## 2. ANÁLISE DE QUESTÕES DOS EXAMES ANTERIORES AO ANO DE 2003.

### 2.1 Exame Nacional de Cursos de 1997 <sup>(1,2)</sup>.

*Questão 2:* É uma questão teórica envolvendo o cálculo da fugacidade de um componente numa mistura. São fornecidas as seguintes equações:

Lei de Raoult :  $p_i = p_i^{sat} x_i$

Lei de Henry :  $\hat{f}_i = H_i^{solv} x_i$

Regra de Lewis :  $\hat{f}_i = f_i^o x_i$

O problema pede para que o aluno (graduando) apresente as hipóteses envolvidas e o campo de aplicação destas equações. Observa-se que o examinador não especifica o nome das variáveis das equações, além de não referenciá-las já que são procedentes de uma teoria rotineira. Seria mais interessante utilizar a equação geral de  $f_i$  (fugacidade) e através das hipóteses apropriadas, chegar às equações anteriores.

O que se chama “Lei de Raoult”, no enunciado, a bem da verdade está incompleta. É preciso acrescentar a igualdade com a fase vapor,  $y_i P$ . A equação escrita dessa forma apresenta somente a parte que o componente está na fase líquida ideal (isto é,  $\gamma_i = 1$ ). A questão envolve ainda conceitos de baixas pressões e soluções diluídas que é bem específico para o aluno. Talvez uma aplicação numérica destes conceitos fosse de mais valia e atingiria os objetivos do ensino na área.

*Questão 3:* Aplicação de balanços de massa e energia envolvendo leituras de tabelas termodinâmicas. É uma questão que possui assuntos bem discutidos em cursos de engenharia química. Está bem elaborada e pode ser considerada de nível fácil para o estudante.

### 2.2 Exame Nacional de Cursos de 1998 <sup>(1,2)</sup>.

*Questão 2 :* Trata-se de um problema de equilíbrio líquido-vapor que é muito comum para um formando em Engenharia Química. O enunciado pede para que se admita pressão baixa, o que não é necessário. O aluno, de posse da temperatura de equilíbrio, poderia calcular as pressões de vapor dos dois componentes puros que resultaria em  $P_1^{sat} = 159,47$  kPa e  $P_2^{sat} = 18,92$  kPa, e perceberia que, caso não haja azeótropo, a pressão do sistema varia entre  $P_1^{sat}$  e  $P_2^{sat}$ , que seria muito baixa, podendo-se desprezar as correções de coeficientes de fugacidade e de Poyting. A correção empregando os coeficientes de atividade poderia ser justificada devido as moléculas serem semelhantes em forma, massa molecular e estrutura eletrônica, o



que não impediria de se colocar equações de  $\gamma_i$  versus  $x_i$  para cada um deles em que o aluno pudesse calcular esses valores e obter o resultado unitário. Percebe-se ainda que se poderia cobrar conhecimentos de propriedades de excesso ( $G^{\text{ex}} = 0$ ) enriquecendo a questão. As equações de  $P^{\text{sat}}$  (pressão de saturação) contra temperatura deveriam ser referenciadas. O estudante tem enfrentado questões bem mais complexas do que esta em cursos de engenharia química. Pode-se considerar que a questão é de nível fácil e que infelizmente foi pouco explorada nos aspectos de se aferir o conhecimento do engenheiro.

### 2.3 Exame Nacional de Cursos de 1999 <sup>(1,2)</sup>.

*Questão 1:* Novamente depara-se com um problema envolvendo balanços de massa e energia em sistemas abertos e leitura de tabelas termodinâmicas. A questão possui um enunciado claro e a figura contém as informações necessárias para a solução do exercício. É uma questão muito comum em disciplinas profissionalizantes dos cursos de Engenharia Química. Dever-se-ia completar a Tabela que contém dados termodinâmicos, com a nomenclatura, por exemplo, f = líquido (fluido) e g = gás.

O futuro engenheiro tem enfrentado questões bem mais complexas envolvendo gases onde é preciso computar as contribuições de energia cinética e potencial. Além disso, os problemas em regime permanente parecem ocupar a cena, em sua grande parte, nas questões do Exame Nacional de Cursos. O que não deixa de ser uma realidade no que se refere aos trabalhos de engenharia em unidades fabris.

*Questão 3 :* Exercício para cálculo de equilíbrio líquido-vapor de misturas binárias em altas pressões. O aluno que solucionou as questões do Exame Nacional de Cursos de 97 e 98, provavelmente acertou esta questão com facilidade haja vista que ela contém os conhecimentos de coeficiente de distribuição,  $K_i = y_i/x_i$ , lei de Henry e equilíbrio líquido-vapor utilizados em provas anteriores. O enunciado está muito claro e completo. Os valores de coeficientes de fugacidade foram fornecidos para o N<sub>2</sub> e para o etano. O examinador poderia tornar a questão ainda mais completa se perguntasse, por exemplo, maneiras de obter a constante de Henry e/ou os coeficientes de fugacidade.

### 2.4 Exame Nacional de Cursos de 2000 <sup>(1,2)</sup>.

Após o terceiro ano de Exame Nacional de Cursos, se avaliarmos as provas anteriores, percebemos que existe a possibilidade de que a comissão examinadora tenha sofrido alterações haja vista que a questão que aparece nesta prova do ano de 2000 ser bastante diferenciada das anteriores.

*Questão 1 :* Esta questão está relacionada a conhecimentos de equilíbrio-químico ou sistemas reacionais. A reação química é bem simples e está em fase líquida. O objetivo é produzir um composto B a partir de uma molécula A. Foi fornecido o gráfico que permite observar o comportamento dos potenciais químicos dos componentes em função da temperatura do sistema reacional. A pergunta foi a seguinte: Verifique a viabilidade termodinâmica da reação reversível em fase líquida, no sentido da obtenção de B. A análise pode ser feita para os três casos possíveis:

$\mu_A > \mu_B$  (não atingiu o equilíbrio, a reação está ocorrendo no sentido de obter B);

$\mu_A \equiv \mu_B$  (equilíbrio, a reação cessou);

$\mu_A < \mu_B$  (não atingiu o equilíbrio, a reação está ocorrendo no sentido de obter A);



Estes casos envolvem o cálculo do valor da energia livre de Gibbs da mistura reacional. A questão é essencialmente teórica. O enunciado deveria envolver perguntas mais específicas que auxiliariam o aluno e diferenciaria aqueles que possuem algum nível de conhecimento sobre o assunto. Apesar de reconhecer o valor conceitual desta questão, entendemos que um problema mais aplicado a respeito de equilíbrio químico poderia ter mais viabilidade no sentido de verificar o conhecimento dos futuros graduandos a respeito do assunto. Acreditamos ainda que a divisão da pontuação desta questão tem caráter bastante subjetivo uma vez que seu enunciado é pouco objetivo. A subdivisão em itens traria maior segurança ao aluno e facilitaria o trabalho de correção.

## 2.5 Exame Nacional de Cursos de 2001 <sup>(1,2)</sup>.

Neste exame, percebe-se que uma questão de equilíbrio de fases retorna à prova. Além disso, um problema com aplicações de propriedades coligativas é apresentado.

*Questão 2* : Exercício extremamente simples envolvendo o equilíbrio líquido-vapor de soluções diluídas em baixas pressões. Historicamente, nota-se que o conhecimento da Lei de Henry é fundamental para o candidato do Exame Nacional de Cursos. A questão explora muito pouco os conhecimentos do candidato e a distribuição de 10 pontos também fica subjetiva. Sugere-se, uma vez mais que se divida as perguntas em itens e que o conhecimento seja mais explorado. Observando-se os programas de disciplinas de Físico-Química fica bastante evidente que esta questão poderia ser mais abrangente.

*Questão 4* : Retorna, neste Exame Nacional de Cursos, o problema envolvendo balanços de massa e energia, agora em sistema com duas fases, ou seja, no caso, em equilíbrio líquido-vapor. O enunciado está claro e objetivo. Questão bem elaborada e pontuação bem distribuída. O balanço de massa é simples e as respostas são imediatas, dispensando qualquer tipo de cálculo usual. O tópico “elevação ebulioscópica” estudado em disciplinas de Físico-Química faz parte de um dos itens da questão. Parece ser interessante que o aluno tenha memorizado equações básicas de fenômenos de interesse para análises qualitativas.

## 2.6 Exame Nacional de Cursos de 2002 <sup>(1,2)</sup>.

Neste exame, percebe-se, pela primeira vez, uma questão envolvendo cálculo de variação de entropia, isto é, a Segunda Lei da Termodinâmica. Comentários a respeito desta questão, (2) serão feitos a seguir. Balanços de massa e energia associados a um diagrama termodinâmico P-H (pressão–entalpia) é o assunto da outra questão, (10) da área de Físico-Química desta prova.

*Questão 2* :

O sistema envolve dois corpos (1 e 2) em temperaturas ( $T_1 \gg T_2$ ) separados por uma parede sólida. A questão solicita que o candidato ao Exame Nacional de Cursos avalie o processo de fluxo de calor e de fluxo de entropia entre os corpos. Existem três processos em que a análise deve ser executada. É muito fácil perceber que o fluxo de calor pela parede (por condução) é constante e pode ser representado pela figura constante nas provas <sup>(2)</sup>. Energia não pode ser gerada e sim conservada. Por outro lado, o fluxo de entropia não pode ser representado por nenhuma figura. Pelo enunciado, percebe-se que se trata de sistemas fechados (corpos), sem escoamento de massa, portanto não se pode falar em fluxo de entropia. O que pode ser comentado é a respeito da variação da entropia em cada corpo, individualmente. Portanto, consideramos que há um equívoco no enunciado da questão, que em termos conceituais deveria ser revisada.



*Questão 10:*

Problema característico do Exame Nacional de Cursos. Do ponto de vista global caracteriza-se como um exercício completo de Engenharia Química no Exame Nacional de Cursos. Envolve balanços de massa, energia, equipamentos e diagramas termodinâmicos. Os conceitos envolvidos são bastante básicos o que permite que grande parte dos candidatos solucione a questão. Os valores das respostas são aproximados dependendo da leitura que o aluno irá fazer no diagrama. A distribuição de pontos da questão está bastante razoável e independente, de forma que o erro num item não acarreta erros nos demais. Enunciado bem elaborado, figura e diagrama legíveis. Poder-se-ia acrescentar algum cálculo envolvendo sistemas de conversão de unidades ou determinação de vazão volumétrica. O diagrama entalpia-pressão utilizado deveria ter sido referenciado.

### 3. CONCLUSÕES

Globalmente, nota-se evolução nas provas aplicadas no Exame Nacional de Cursos, relativamente à área de Físico-Química, dentro dos aspectos avaliados neste trabalho.

Em alguns casos, a distribuição da pontuação por itens auxiliaria o graduando e a uma correção mais objetiva da prova.

É possível tornar as questões mais abrangentes no conteúdo de forma a aferir, mais efetivamente, o nível de conhecimento do graduando.

Problemas técnicos conceituais de algumas questões poderiam ser evitados se profissionais da área específica fossem consultados e a questão discutida amplamente, antes da impressão e aplicação do teste.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sandler, S. I. Chemical Engineering Thermodynamics. – Second edition, John Wiley, 1989.
2. Site: <http://www.inep.gov.br> – provas do ENC – 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002.

## INVESTIGATION OF SOME ASPECTS OBSERVED IN THE NATIONAL EXAM OF COURSES IN THE QUESTIONS RELATED TO THE CHEMISTRY PHYSICS AREA

**Abstract:** *The National Exam of Courses known as “Provão” has been applied to the students graduated from chemical engineering courses and others since 1997. Until now, five exams were applied for chemical engineers..*

*Criteria and directions are established by one specific committee composed by specialists in Chemical Engineering. Ministério da Educação is the organism responsible to become known the informative material. The tests are composed by ten questions containing the subjects as follows: Transport Phenomena, Chemistry-Physics, Unit Operations (and Reactors) and Chemical Process. The commission makes and checks the tests each year.*

*In this work, an analysis is done regarding the Chemistry-Physics subject involving the topics: thermodynamics, stoichiometry and mass and energy balances.*

The evaluation was done based on the subjects cited above. It had positive objective and the main idea was to promote discussions for the growing of that. Aspects relating to: the complete subject, the interpretation of results, the level explored, the technical applications, concepts and technical problems of questions were revealed. Reflections and future discussions could accelerate the optimization of National Exam of Courses. .

**Key-words:** National Exam of Courses, teaching, engineering.

## APÊNDICE

Enunciado das questões extraídos da referência (2).

Questão nº 2 (1997)

Apresente as hipóteses envolvidas e o campo de aplicação das leis de Raoult e de Henry e da regra de Lewis.

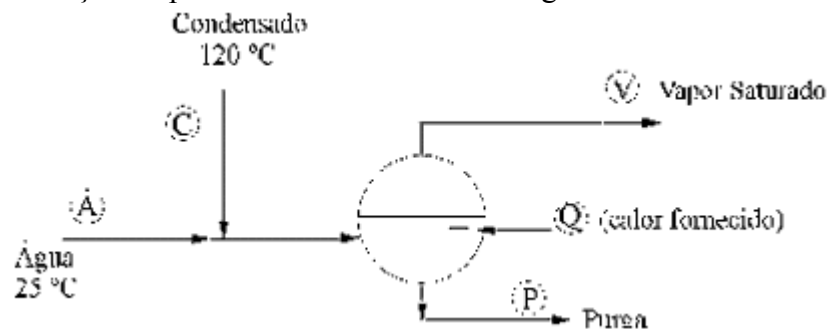
Lei de Raoult:  $p_i = p_i^{\text{sat}} \cdot x_i$

Lei de Henry:  $f_i = H_{i,\text{solv}} \cdot x_i$

Regra de Lewis:  $f_i = f_i^0 \cdot x_i$

Questão nº 3 (1997)

Uma caldeira produz 1.000 kg/h de vapor saturado a uma pressão de 3,0 kgf/cm<sup>2</sup> absoluta. A caldeira é simultaneamente alimentada com água a 25° C e com 800 kg/h de condensado a 120° C, que retorna do processo, como mostra a figura abaixo. Calcular a carga térmica (calor cedido à caldeira) para a produção do vapor desejado. A purga retira 20 kg/h de líquido da caldeira. Para a solução do problema utilize a tabela a seguir.



[Clique aqui para ver a Tabela!](#)

Questão nº 2 (1998)

Uma solução líquida, contendo 30% molar de n-pentano (1) e 70% molar de n-heptano (2), encontra-se em equilíbrio de fases com o seu vapor a 50° C.

(i) Calcule o fator  $K_i = y_i / x_i$  para os dois componentes nas condições acima, em que  $y_i$  = fração molar do componente  $i$  na fase vapor, e  $x_i$  = fração molar do componente  $i$  na fase líquida. Admita que a solução líquida seja ideal e que a pressão do sistema seja suficientemente baixa para que sejam desprezadas correções na fase líquida e vapor. As pressões de vapor são dadas pelas expressões abaixo, nas quais  $p_i^{\text{sat}}$  encontra-se expressa em kPa e  $T$  em K.

n-pentano:  $\ln(p_1^{\text{sat}}) = 13,8183 - 2.477,07 / (T - 39,94)$

n-heptano:  $\ln(p_2^{\text{sat}}) = 13,8587 - 2.911,32 / (T - 56,51)$



(ii) Discuta a pertinência da hipótese de solução líquida ideal admitida em (i).

Questão nº 1 (1999)

Uma unidade industrial deverá empregar etileno como refrigerante em um sistema de resfriamento. O trocador de calor de refrigeração receberá 100 kg/h de etileno líquido, saturado a uma pressão de 30 bar absoluta, conforme o esquema abaixo. Na entrada do trocador a pressão é reduzida para 5 bar, forçando a vaporização do etileno. Calcular a carga térmica do trocador, de forma que 80% do etileno alimentado passem para o estado de vapor. Dados / Informações adicionais Etileno Saturado

Questão nº 3 (1999)

Deseja-se recuperar etano de uma corrente gasosa contendo etano e nitrogênio, através de uma coluna de absorção, utilizando como solvente um óleo não volátil. Como subsídio para o projeto da coluna, calcule a volatilidade relativa do nitrogênio em relação ao etano a 50°C e 50 bar, para uma solução gasosa contendo 2 mol% de etano e 98 mol% de nitrogênio em equilíbrio com o óleo. Sabe-se que, na solução gasosa, nas condições acima, os coeficientes de fugacidade do etano e do nitrogênio são iguais a 0,841 e 0,997, respectivamente. O valor da Constante de Henry do etano, em óleo, é igual a 100 bar, e o do nitrogênio, em óleo, é igual a 1.000 bar.

Questão nº 1 (2000)

Verifique a viabilidade termodinâmica da reação reversível em fase líquida, no sentido da obtenção de B,  $\{A \leftrightarrow B\}$  na faixa de temperatura entre  $T_1$  e  $T_2$ . O potencial químico dos participantes da reação varia com a temperatura conforme o gráfico abaixo. Justifique a sua resposta.

Questão nº 2 (2001)

Ensaio de laboratório revelam que a solubilidade do dióxido de carbono, em termos de fração molar, em um hidrocarboneto não volátil, é igual a  $5 \times 10^{-3}$  a  $10^5$  Pa e 330 K. Calcule a solubilidade do dióxido de carbono nesse hidrocarboneto a  $5 \times 10^6$  Pa e 330 K. Admita que a fase vapor se comporte como gás ideal e que a Constante de Henry independa da pressão.

Questão nº 4 (2001)

Considere o evaporador esquematizado na seguinte figura:

a) A pressão absoluta no interior do evaporador é mantida a  $1,3 \times 10^4$  Pa (pressão de operação-*Pop*), correspondendo a uma temperatura de saturação da água de 51°C. Utilizando os dados correntes apresentados na tabela abaixo, determine a vazão e a temperatura do evaporado e do concentrado, desprezando a elevação do ponto de ebulição da solução.

b) Em termos qualitativos, o que aconteceria com a temperatura e a concentração da corrente de concentrado se a elevação do ponto de ebulição da solução fosse diferente de zero? Justifique a sua resposta.

c) O desempenho de evaporadores pode ser definido por:

massa de solvente evaporado / massa de vapor de aquecimento utilizado

Proponha uma modificação no sistema de evaporação em análise que aumente o seu desempenho, mantendo-se inalteradas as especificações de sua alimentação, do vapor de aquecimento disponível e do concentrado produzido.



Questão nº 2 (2002) Dois corpos 1 e 2 são mantidos a temperaturas diferentes  $T_1$  e  $T_2$  ( $T_1 \gg T_2$ ), respectivamente, e separados por uma parede sólida. Devido à diferença de temperatura entre os dois corpos, a parede é atravessada por um fluxo de calor e por um fluxo de entropia. As figuras representam três processos em regime estacionário, nos quais os fluxos de calor ( $Q$ ) e de entropia ( $S$ ) estão representados por setas cujas larguras correspondem aos seus valores numéricos. Avalie se cada um dos processos é termodinamicamente viável, justificando cada resposta.

Questão nº 10 (2002) Você recebeu a tarefa de executar a análise preliminar da unidade representada na figura abaixo, onde um reator, em que deverá ocorrer uma reação fortemente exotérmica, terá a sua temperatura controlada por um ciclo de refrigeração. O sistema de refrigeração deverá empregar propileno como refrigerante. O compressor admitirá propileno a 5 bar sob a forma de vapor saturado. Uma compressão adiabática elevará a pressão do propileno até 20 bar. Após a descarga do compressor, o propileno será condensado e resfriado no trocador de calor até  $30^\circ\text{C}$  para, então, ser enviado à serpentina de resfriamento do reator, após passar pela válvula redutora de pressão. Empregando o diagrama termodinâmico Entalpia x Pressão, apresentado, faça uma estimativa de:

- temperatura  $T_1$  do gás na saída da serpentina de resfriamento do reator;
- temperatura  $T_2$  do gás na descarga do compressor;
- vazão mássica ( $\text{kg}/\text{h}$ ) de propileno enviada à serpentina para absorver uma carga térmica de  $290.000 \text{ kJ/h}$ ;
- carga térmica do condensador ( $\text{kJ}/\text{h}$ ).