

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Curso de Bacharelado em Física

CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR DA CERVEJA

MASAHIRO HATORI

PORTO ALEGRE, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE FÍSICA

Curso de Bacharelado em Física

CONCENTRAÇÃO ELEMENTAR DA CERVEJA

MASAHIRO HATORI

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto de Física da
UFRGS como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Física.
Trabalho realizado sob a orientação do
Prof. Dr. Johnny Ferraz Dias

PORTO ALEGRE, 2010

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Hisao e Cristina, sem o apoio deles eu não teria chegado até aqui. Às minhas irmãs Tamie e Aya pelo carinho e paciência.

Ao professor Johnny Ferraz Dias pela orientação, dedicação e tudo que me ensinou.

A Carla e a Liana pelo que me ensinaram, orientaram e ajudaram no laboratório. A Rafaela, Cláudia, Elis, Vanessa e Débora pelo companheirismo.

Aos técnicos do Laboratório de Implantação de Íons do IF – UFRGS pela ajuda, disposição e competência.

Aos meus colegas da física, com os quais aprendi muito nesses anos e sei que irei aprender ainda mais. Em especial à Ana Paula Bertol e ao Frederico Fetter por, além de tudo, me motivar a chegar até aqui.

Aos demais amigos e familiares pelo apoio.

Resumo

O objetivo do presente trabalho consiste em analisar diversos tipos de cerveja através da determinação da concentração elementar, uma vez que é uma bebida muito consumida e que apresenta benefícios à saúde. Para tal, cervejas de tipos e embalagens variadas disponíveis no mercado local de Porto Alegre, RS, foram caracterizadas de acordo com os elementos presentes em sua composição. A caracterização elementar serviu como base para verificar a existência de diferenças entre os conteúdos e suas respectivas embalagens. A caracterização elementar das amostras de cerveja foi realizada através das técnicas PIXE (Particle Induced X-ray Emission) e RBS (Rutherford Backscattering).

Observamos que os elementos que compõem a cerveja são Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Br e Rb. Quando comparadas as cervejas por tipo e embalagem, notamos discrepâncias entre as cervejas de tipos diferentes e mesma embalagem e nas cervejas acondicionadas em embalagens diferentes, mas de mesmo tipo.

Sumário

1. Introdução	6
2. Métodos de Análise	8
2.1 Técnicas Analíticas	
2.1.1 PIXE	8
2.1.2 RBS	11
3. Parte Experimental	13
3.1 Amostras	13
3.2 Análise PIXE	15
3.3 Análise RBS	18
4. Resultados e Discussão	19
5. Conclusões	25
6. Bibliografia	26

1. Introdução

A cerveja é uma das bebidas mais antigas e mais consumidas em todo o mundo. Relatos antigos sobre a cerveja indicam que Osíris, deus egípcio da terra e dos vegetais, teria sido seu criador [1]. Um dos registros mais antigos a respeito da cerveja é um poema datado de 2600 a 2350 a.C. que se intitula *Hino a Ninkasi*, deusa da cerveja, que menciona que os sumérios produziam cerveja. O Código Hamurabi, datado de 2100 a.C., continha leis e regulamentações sobre a venda e a fabricação de cerveja [2]. A cerveja era, então, utilizada como mercadoria para troca de produtos e com o tempo se espalhou pela Grécia, Roma e vários países da Europa. Na época em que os espanhóis chegaram à América os incas já bebiam cerveja de grãos de milho.

A cerveja é, basicamente, uma bebida feita através da fermentação de matérias como derivados de cereais ou outras fontes vegetais. Registros indicam que antigamente a cerveja não era apenas um componente da dieta das pessoas, mas utilizada também para diversas funções medicinais, tais como, anti-séptico bucal, lavagem intestinal e aplicação em feridas [3].

A classificação da cerveja é feita de acordo com alguns parâmetros, tais como, o teor alcoólico, extrato, pelo malte ou de acordo com sua fermentação [4]. A principal forma de classificar a cerveja é quanto ao seu tipo de fermentação. Nessa classificação temos as cervejas do tipo Lager e do tipo Ale. A cerveja do tipo Lager sofre um processo de fermentação curta. Precisa de um tempo de armazenamento que varia entre uma e três semanas. Já a cerveja do tipo Ale requer mais tempo de armazenamento o que resulta em um teor menor de gás carbônico e um gosto mais encorpado.

Há um grande interesse em estudar a cerveja visto que é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo e, no Brasil, é a mais consumida [5]. O Brasil é o quarto maior produtor de cerveja no mundo, ultrapassando no início desse ano a Alemanha, ficando atrás somente dos EUA, Rússia e China. Estudos indicam que a cerveja é benéfica, quando bebida em moderação, podendo ajudar na prevenção da doença de coração [1].

Em outros trabalhos a cerveja foi analisada com outras técnicas que analisam cada elemento de forma individual [6]. Neste trabalho analisamos cervejas com a técnica PIXE. A técnica de PIXE foi escolhida ser uma das técnicas existentes no

Laboratório de Implantação Iônica do IF-UFRGS. Ela foi utilizada por ser uma técnica que faz uma análise multielementar da amostra em um pequeno intervalo de tempo e com boa resolução, ou seja, em poucos minutos podemos obter um espectro com os elementos presentes na amostra [7].

Para o presente trabalho diversas cervejas foram obtidas no mercado local de Porto Alegre, RS. Cervejas do tipo *pilsen* e escura, embaladas tanto em lata como em garrafa *long neck* foram adquiridas com o objetivo de verificar diferenças na composição elementar de cervejas acondicionadas de formas diferentes.

2. Métodos de Análise

2.1 Técnicas Analíticas

A caracterização das amostras de cerveja foi realizada através de duas técnicas analíticas: PIXE e, de maneira complementar, RBS. Ambas as técnicas tem como princípio básico a incidência de partículas carregadas nas amostras e a interpretação dos sinais de resposta.

2.1.1. PIXE

Particle Induced X-ray Emission (PIXE) é uma técnica analítica não destrutiva que nos permite determinar os elementos traços presentes nas amostras analisadas.

Mosley [8], em 1914, foi o pioneiro no estudo das energias características dos raios-X emitidos por cada elemento da tabela periódica. Com o avanço tecnológico dos detectores de estado sólido e da física nuclear, muitos outros trabalhos foram feitos baseados nas experiências de Mosley. Johansson foi um dos que obteve maior sucesso no final dos anos 70. Juntamente com seus colaboradores mostrou que utilizando prótons de 2MeV para excitar os elétrons da amostra e detectando os sinais emitidos pela amostra através de um detector de Si(Li), era possível desenvolver uma técnica eficiente para a análise dos elementos traços presentes nas amostras. Em muitos outros laboratórios pelo mundo passou-se a utilizar essa técnica pela rapidez e alta sensibilidade na análise multielementar. PIXE se baseia na emissão de raios-X característicos de cada elemento pela amostra excitada a partir de um feixe de partículas carregadas positivamente.

Os elétrons das camadas mais internas constituintes da amostra são excitados pelos prótons e são ejetados, deixando assim uma vacância nessa camada. Para que o átomo volte ao seu estado de menor energia a vacância será preenchida por um elétron de uma camada mais externa. Nesse processo de transição eletrônica de uma camada para outra, ocorre a liberação de energia na forma de raios-X. Como esses raios-X são resultado da diferença de energia das camadas eletrônicas envolvidas na transição e essa energia é particular para cada elemento da tabela periódica, diz-se que essa energia é

característica do elemento. Os raios-X são identificados de acordo com as camadas envolvidas na transição, por exemplo: o elétron que estava na camada L e passa para a K liberará raios-X que serão chamados de $K\alpha$, o elétron que passou da camada M para a K liberará raios-X que serão chamados de $K\beta$. Os raios-X liberado pela transição de uma camada M para a L será chamado de $L\alpha$ e assim se segue a nomenclatura das transições.

Além da emissão de raios-X característicos outros processos ocorrem durante a análise formando a radiação de fundo (*background*). Essa radiação de fundo tem duas origens: a radiação natural e a radiação induzida.

Raios cósmicos e radiação proveniente de materiais radioativos que estão em volta do detector são tipos de radiação natural. A radiação de fundo que chega ao detector pode ser reduzida se o mesmo for protegido com uma blindagem. O detector utilizado no Laboratório de Implantação Iônica do IF-UFRGS é blindado com uma cápsula de alumínio para blindar radiação de baixas energias.

O feixe de íons até chegar à amostra pode sofrer diversos espalhamentos nos constituintes internos do acelerador como, por exemplo, nos colimadores que definem a forma e o tamanho do feixe ou outros elementos dentro da câmara de reações. Esses espalhamentos podem gerar raios-X que podem vir a ser detectados. Esses raios-X são um exemplo de radiação induzida. No acelerador Tandem do IF-UFRGS esses efeitos foram minimizados com colimadores de carbono para minimizar o halo de partículas que viaja com o feixe e com um revestimento interno da câmara de reações com polímero.

A radiação de freamento (*bremstrahlung*) é outro tipo de radiação induzida que surge quando uma partícula sofre algum tipo de aceleração. No processo de interação íon-matéria, o íon perde energia ao longo de sua trajetória no material, sendo freado constantemente. Ao mesmo tempo, elétrons secundários são emitidos dos átomos constituintes da amostra. Tanto o íon que está sendo desacelerado quanto os elétrons secundários emitem esta radiação de freamento. A contribuição devida ao íon incidente pode ser considerada desprezível, mas a radiação de freamento emitida pelos elétrons secundários pode constituir uma fração apreciável da intensidade do espectro observado para energias abaixo de 10 keV. Em geral, todo espectro PIXE apresenta raios-X sobrepostos com o fundo gerado por elétrons secundários. A razão entre a intensidade

desses raios-X característicos com as respectivas radiações de fundo está diretamente relacionada com a sensibilidade da técnica.

As figuras 2 e 3 representam a excitação dos elétrons e da transição entre camadas.

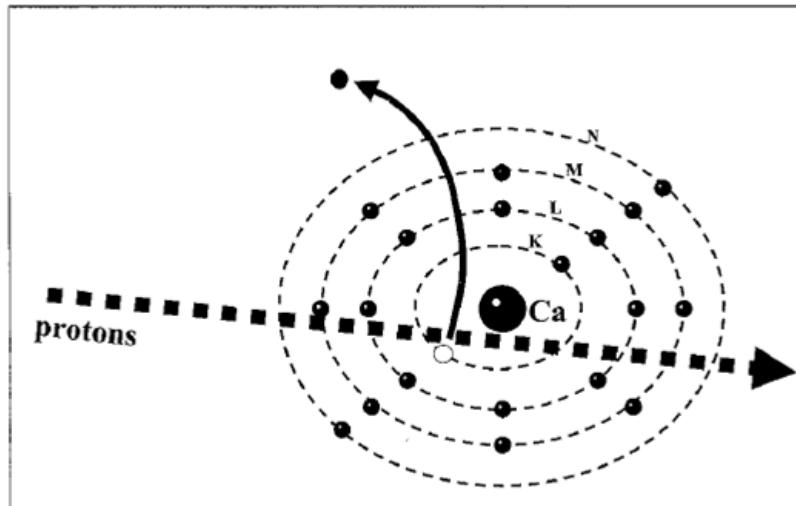


Figura 1: Ejeção de elétron estimulada pelo feixe de prótons.

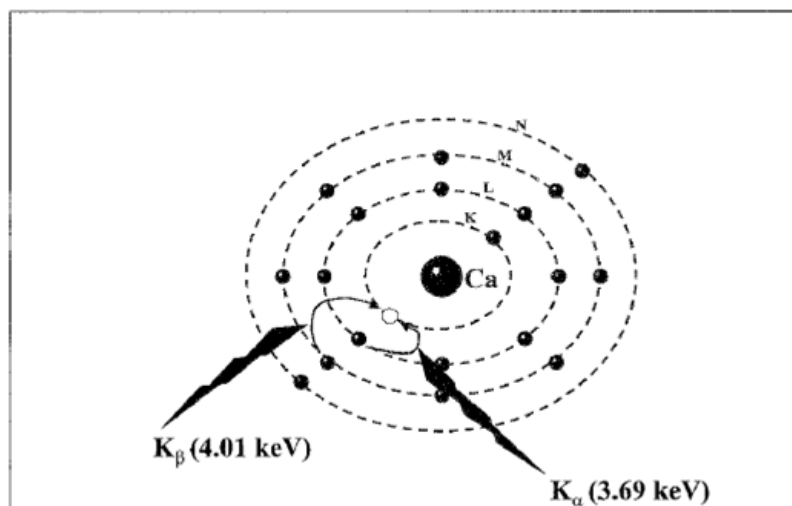


Figura 2: Transição de elétrons da linha L e M para a linha K.

2.1.2. RBS

Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford (RBS) é uma das técnicas mais utilizada para caracterização de amostras [9]. Basicamente, incidimos um feixe de íons com alta energia sobre uma amostra. Alguns desses íons irão colidir com núcleos dos átomos da amostra e sofrerão retroespalhamento. Os íons retroespalhados chegam ao detector que mede a energia do íon e através de cálculos baseados na conservação de momento e energia determinamos em qual átomo o íon se chocou. No caso da combinação com PIXE, RBS é utilizada para determinar os elementos leves que constituem a matriz da amostra.

No RBS utiliza-se um feixe de íons de He^+ com uma energia de 1.2 MeV. Essa energia é escolhida, pois não é suficiente para gerar reações nucleares.

Se a amostra for um filme fino o feixe de íon irá passar pelo filme e uma pequena parte do feixe irá se chocar com os núcleos. Já se a amostra for mais espessa, apenas íons com um ângulo de espalhamento maior que 90° poderão ser detectados. A detecção desses íons ocorre com um detector de estado sólido que cobre um ângulo sólido.

O íon chega no átomo com uma energia E_{in} e após a colisão o íon chega no detector com uma energia diferente E_{out} . A razão dessas energias recebe o nome de fator cinemático, que é definido por:

$$K = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

Essa diferença na energia ocorre porque os íons perdem energia ao colidir com o átomo.

Podemos escrever K em função das massas (M_1 , M_2) e do ângulo θ , ângulo entre o feixe incidente e o detector.

$$K(M_1 M_2 \theta) = \left\{ \frac{\left[1 - \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \sin^2 \theta \right]^{1/2} + \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \cos \theta}{1 + \left(\frac{M_1}{M_2} \right)} \right\}^2$$

Onde M_1 é a massa do íon do feixe e M_2 do átomo da amostra. Fixando θ , podemos determinar M_2 após o obtermos o valor da energia com que o feixe incidiu nele.

A probabilidade de uma partícula incidir em um núcleo e ser retroespalhado é a seção de choque de espalhamento $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ para um dado elemento. Rutherford considerou um potencial Coulombiano $V = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r}$ e assim temos que:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left[\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E_c \sin^2 \theta_c / 2} \right]^2$$

Onde Z_1 é a carga do íon do feixe e Z_2 o do alvo.

Outros fatores têm que ser levados em conta: a perda de energia do feixe quando penetra na amostra a *seção de choque de freamento* e a flutuação estatística na perda de energia (*straggling*) do íon quando penetra na amostra. Ambos irão influenciar na determinação exata dos elementos constituintes da amostra e da sua espessura.

3. Parte Experimental

3.1 Amostras

As cervejas utilizadas na análise foram adquiridas nos mercados da cidade de Porto Alegre, RS. Obtivemos cervejas de dois tipos, pilsen e escura, acondicionadas em embalagens diferentes, lata e garrafa. Também diferenciamos as cervejas pela sua data de validade. A Tabela 1 mostra a classificação das amostras preparadas neste trabalho.

Colocamos todo o conteúdo das cervejas, individualmente, em beakers e as secamos em um forno convencional por aproximadamente 4 horas a uma temperatura média de 150°C. Após secas e maceradas, foram prensadas, com o auxílio de uma prensa hidráulica, de forma a ter-se uma pastilha de 25mm de diâmetro o mais homogênea possível. Utilizando uma balança de precisão pôde-se manter o peso das amostras em torno de 1g. A tabela 2 mostra quantas amostras foram analisadas. No total foram analisadas 100 amostras.

Tabela 1: Identificação e classificação das amostras de acordo com tipo de cerveja, embalagem na qual foi acondicionada e data de validade do produto

Identificação	Tipo de cerveja	Embalagem	Data de validade
Marca A	Escura	Lata	12/03/09
Marca A	Escura	Lata	24/11/05
Marca A	Escura	Lata	22/01/09
Marca A	Escura	Lata	21/02/08
Marca A	Escura	Lata	12/03/09
Marca A	Escura	Lata	14/07/10
Marca A	Escura	Long Neck	09/02/09
Marca A	Escura	Long Neck	13/11/05
Marca A	Escura	Long Neck	09/02/09
Marca A	Escura	Long Neck	20/09/10
Marca B	Pilsen	Lata	05/04/09
Marca B	Pilsen	Lata	27/04/09
Marca B	Pilsen	Lata	11/04/09
Marca B	Pilsen	Lata	26/02/09
Marca B	Pilsen	Lata	13/07/10
Marca B	Pilsen	Long Neck	06/01/08
Marca B	Pilsen	Long Neck	06/01/08
Marca B	Pilsen	Long Neck	06/12/08
Marca B	Pilsen	Long Neck	26/01/09
Marca B	Pilsen	Long Neck	14/08/05

Tabela 2 - Quantidade de amostras analisadas

Tipo de Cerveja	Embalagem (Quantidade comprada)	Quantidade de amostras feitas por embalagem	Total de amostras (n)
Escura	Lata (6)	5	30
Escura	Long neck (4)	5	20
Pilsen	Lata (5)	5	25
Pilsen	Long neck (5)	5	25

3.2 Análise PIXE

Os experimentos utilizando, PIXE e RBS, foram realizados em um acelerador do tipo *tandem* (figura 3), com tensão no terminal de 3MV, no Laboratório de Implantação Iônica do Instituto de Física da UFRGS.

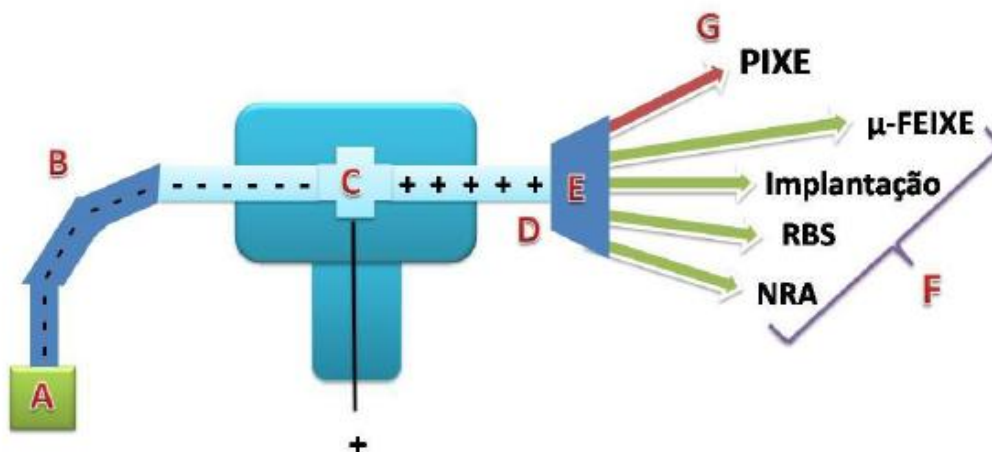


Figura 3: Acelerador Tandem 3MV - IF-UFRGS

Para o experimento realizado com PIXE, que é a técnica mais importante neste trabalho, utilizamos íons de H^- que são produzidos pela fonte de íons (A) e direcionados para o sistema de aceleração (B). Esse sistema é constituído, basicamente, por um terminal positivo (C) que, através do campo elétrico gerado, atrai íons negativos. Neste terminal os íons perdem seus elétrons num *stripper* gasoso e se tornam H^+ e, como o terminal é positivo, esses íons são repelidos e ocorre um acréscimo na energia dos íons. Os íons são direcionados (E) para a câmara de análise (G) que opera em uma pressão da ordem de 10^{-6} mbar, pressão obtida através de uma bomba turbo-molecular. Logo acima da câmara de reações temos a pré-câmara por onde o suporte das amostras é colocado. Assim que o suporte é colocado na pré-câmara se faz um pré-vácuo com pressão da ordem de 10^{-3} mbar para então ser inserida na câmara de reações sem que se altere demasiadamente a pressão dentro da câmara de reações.

Dentro da câmara há um filamento de tungstênio que gera uma nuvem de elétrons que descarrega alvos carregados como a cerveja. Sem esse filamento teríamos uma radiação de fundo que prejudicaria as análises.

A visualização e o posicionamento das amostras dentro da câmara pode ser feito com o auxílio de uma *webcam*.

Dentro da câmara há dois detectores de estado sólido, um de germânio hiperpuro (HPGe) e um de silício dopado com lítio (Si(Li)) utilizados para a detecção de raios-X.

Os raios-X emitidos, que foram induzidos pelo feixe de prótons na amostra, interagem com o detector através, majoritariamente, do efeito fotoelétrico. Os elétrons resultantes geram um pulso cuja amplitude é linearmente proporcional à energia dos raios-X emitidos. Esses pulsos passam por um pré-amplificador e um amplificador que aumentam a razão sinal-ruído do pulso e modelam o pulso na forma de uma gaussiana. O sinal então é digitalizado por um MCA (*Multi Channel Analyser*) e, então, interpretado pelo programa de aquisição de dados. Esse pulso é distribuído em 1024 canais abertos para a coleta do espectro. Durante o processamento de um pulso, o sistema fica fechado para outras eventuais radiações que eventualmente chegam ao sistema, gerando um tempo morto que é importante para o cálculo da carga real que incidu sobre a amostra. A figura 1 é um espectro do padrão de maçã de contagens de raios-X em função do canal que é obtido durante a medida da amostra.

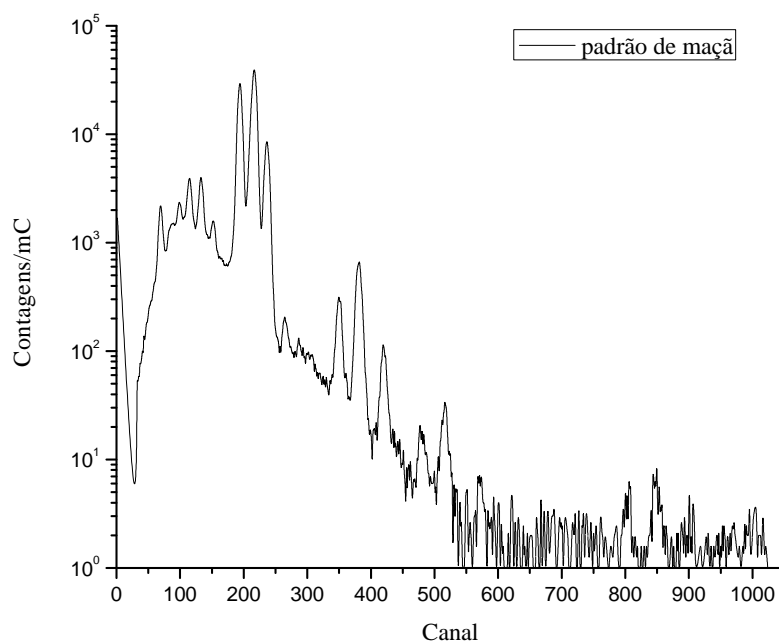


Figura 4: Espectro de contagens de raios-X em função do canal. O espectro refere-se a uma amostra do padrão de maçã irradiada com prótons de 2.0 MeV. Diversos picos referentes aos elementos que compõem a amostra como o potássio (canal 195) e ferro (canal 381) são visíveis no espectro.

Os dados brutos obtidos de uma medida não estão prontos para serem analisados. Precisamos fazer dois tipos de calibração: por energia e quantitativa, também chamada de padronização.

Com a irradiação de alvos padrões, o padrão utilizado foi o de maçã (NIST reference material 1515), onde os elementos e suas respectivas quantidades são conhecidas. Portanto, pode-se construir uma relação linear entre canal e energia dos raios-X como mostram os exemplos a seguir:

$$Energia = 0.11141 + 0.01653 * canal$$

$$Canal = -6.74104 + 60.51186 * energia$$

O espectro obtido da medida de PIXE é dado em contagens por canal. Com essas equações podemos transformá-lo em um espectro de contagens por energia podendo, agora, relacionar os picos de energia com os respectivos elementos. Isso é possível uma vez que o valor de energia dos raios-X característicos dos elementos é tabelado.

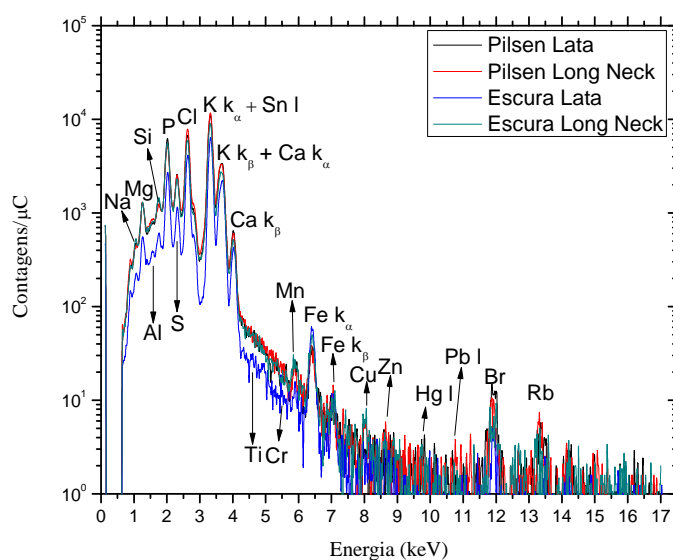


Figura 5: Espectro de PIXE de contagens de raios-X normalizados pela carga em função da energia dos raios-X característicos de amostras de cerveja do tipo pilsen e escura embaladas em lata e long neck

Para adquirirmos o valor da quantidade de cada elemento traço presente na amostra precisaríamos realizar muitos cálculos que necessitariam de um rigoroso cuidado quanto a todos os dados do experimento. Para realizar esses cálculos utilizamos o programa GUPIXWIN [10]. Esse programa contém em sua base de dados informações como energias das linhas de raios-X, seção de choque de produção de raios-X, poder de freamento e fatores de atenuação para todos os materiais, densidade e peso atômico dos elementos, seção de choque fotoelétrica, entre outros dados.

Fornecendo ao programa informações relativas ao experimento, como energia do feixe, carga real incidida sobre a amostra, geometria da câmara de reações, dentre outros, e juntamente com a base de dados do programa, pode-se estimar a área dos picos, obtidos no experimento, e convertê-las em concentrações elementares.

Nas medidas de PIXE foi utilizado um feixe com corrente variando entre 3 e 4 nA. O tempo de medida das amostras foi de 500s.

3.3 Análise RBS

O espectro obtido no RBS foi analisado através do programa SIMNRA [11]. O programa SIMNRA simula experimentos como espalhamento Rutherford. Essa simulação requer parâmetros de alta importância como ângulos de espalhamentos, fator cinemático, seção de choque de espalhamento dentre outros. Levando-se em conta os parâmetros do sistema, ajustamos a concentração dos elementos presentes, no caso da cerveja oxigênio e carbono, até obtermos um ajuste linear com os pontos obtidos na medida.

4. Resultados e discussões

4.1 RBS

A cerveja é uma amostra orgânica composta, principalmente, por elementos leves, como C e O. Para que a quantidade dos demais elementos possa ser determinada com segurança a matriz de elementos leves foi determinada através do RBS.

O resultado da análise (Figura 5) do espectro de RBS com o programa SIMNRA mostrou que a matriz é composta por 62% de Carbono e 38% de Oxigênio.

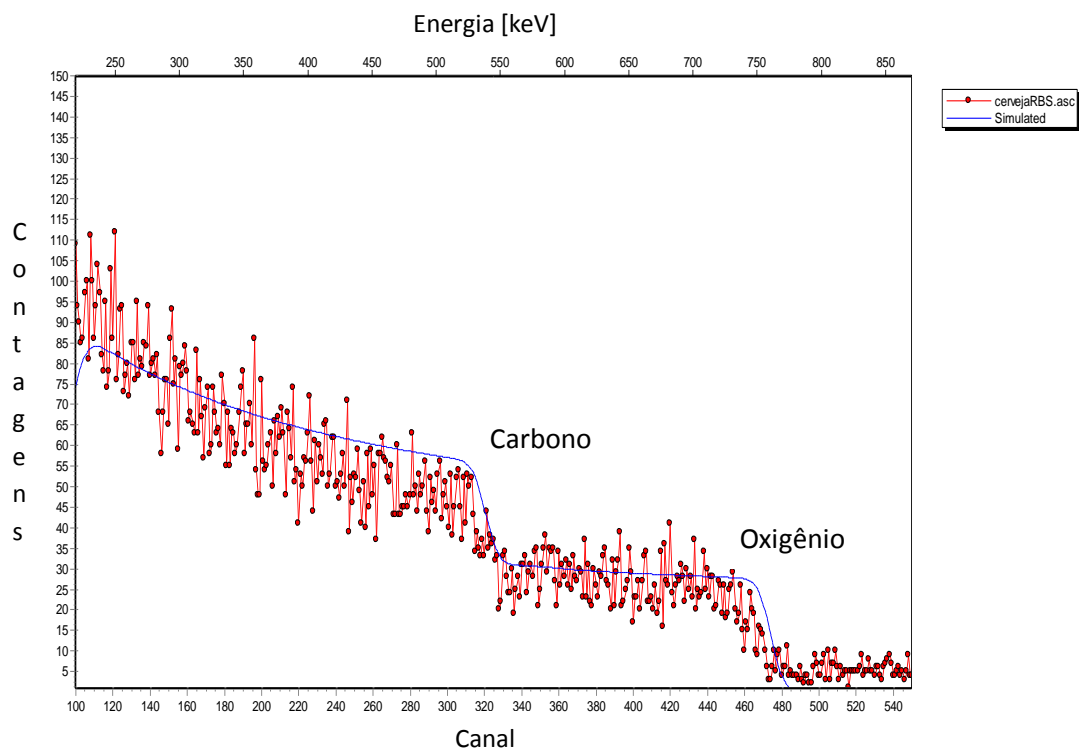


Figura 6: Espectro de contagens em função do canal e energia dos íons retroespalhados com o ajuste feito no SIMNRA representado pela linha azul.

4.2 PIXE

O padrão utilizado para fazer os cálculos das quantidades dos elementos foi o padrão de maçã cuja matriz é constituída de 80% de carbono e 20% de oxigênio.

A partir dos gráficos de contagem por energia podemos determinar quais os elementos possivelmente estarão presentes na cerveja (vide Figura 4). São eles: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Br, Rb, Sn, Hg, Pb.

Utilizando o programa GUPIXWIN, para todas as amostras de cerveja, obtivemos a concentração de cada elemento em partes por milhão (ppm) de massa seca. O programa GUPIXWIN também nos fornece o limite de detecção de cada elemento, assim algumas concentrações não podem ser determinadas. O elemento cujo valor de concentração foi menor que do limite de detecção foi indicado na tabela com o valor do limite de detecção. Alguns valores típicos para o limite de detecção do sistema PIXE do IF-UFRGS são: 0,8, 22 e 217 para ferro, potássio e sódio respectivamente. Obtivemos a concentração dos seguintes elementos: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Br e Rb. Tais resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 1: média das concentrações dos elementos em partes por milhão (ppm) de massa seca presentes na cerveja.

Elemento	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	
Escura Lata (n = 30)	820 ± 188	1728 ± 337	< 99	527 ± 125	4290 ± 434	969 ± 175	4761 ± 960	6473 ± 1230	
Escura Long Neck (n=20)	764 ± 208	1548 ± 261	< 59	479 ± 85	4171 ± 860	961 ± 316	4743 ± 1706	6032 ± 1867	
Pilsen Lata (n=25)	712 ± 175	2093 ± 405	249 ± 342	628 ± 209	5233 ± 939	1354 ± 300	6113 ± 945	8318 ± 1457	
Pilsen Long Neck (n=25)	545 ± 215	1907 ± 632	< 55	440 ± 212	3993 ± 1178	1165 ± 352	7479 ± 2538	8721 ± 2619	
Elemento	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Br	Rb
Escura Lata	1065 ± 317	< 2.5	< 1.3	3.5 ± 1.4	21.3 ± 22.6	1.1 ± 0.6	1.5 ± 1.3	12.3 ± 5.3	< 7.2
Escura Long Neck	1020 ± 395	< 2.7	< 1.6	3.2 ± 1	15.2 ± 12.7	0.9 ± 0.3	0.9 ± 0.4	9.6 ± 3.5	< 7.2
Pilsen Lata	1472 ± 268	< 3.1	< 1.6	3.6 ± 1.5	59.5 ± 78.6	1.7 ± 0.8	1.9 ± 0.9	33.4 ± 11.1	14.9 ± 7.2
Pilsen Long Neck	1371 ± 509	< 2.7	< 1.8	1.6 ± 1.0	17.4 ± 18.9	2.2 ± 1.8	1.7 ± 1.4	15.1 ± 9.2	8.9 ± 3.6

Dos resultados, foram feitas comparações quantitativas das médias para observarmos como a concentração de elementos se comporta entre cervejas diferentes em mesma embalagem e cervejas iguais em embalagens diferentes. Fizemos comparações entre a cerveja do tipo escura acondicionada em lata e long neck (Figura 6) e a cerveja do tipo pilsen acondicionada em lata e long neck (Figura 7). Também foram feitas comparações entre as cervejas escuras e pilsens acondicionadas tanto em lata (Figura 8) quanto em long neck (Figura 9). Os gráficos representam a média de contagens de raios-X normalizadas pela carga para cada elemento encontrado nas cervejas da marca A e B acondicionadas em lata e long neck.

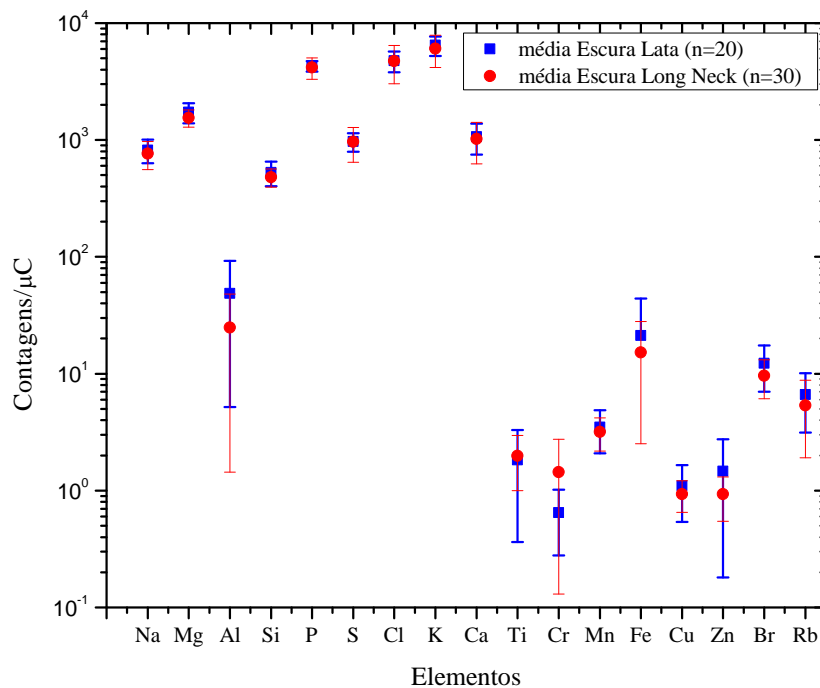


Figura 7: Comparação da cerveja escura acondicionada em lata e long neck.

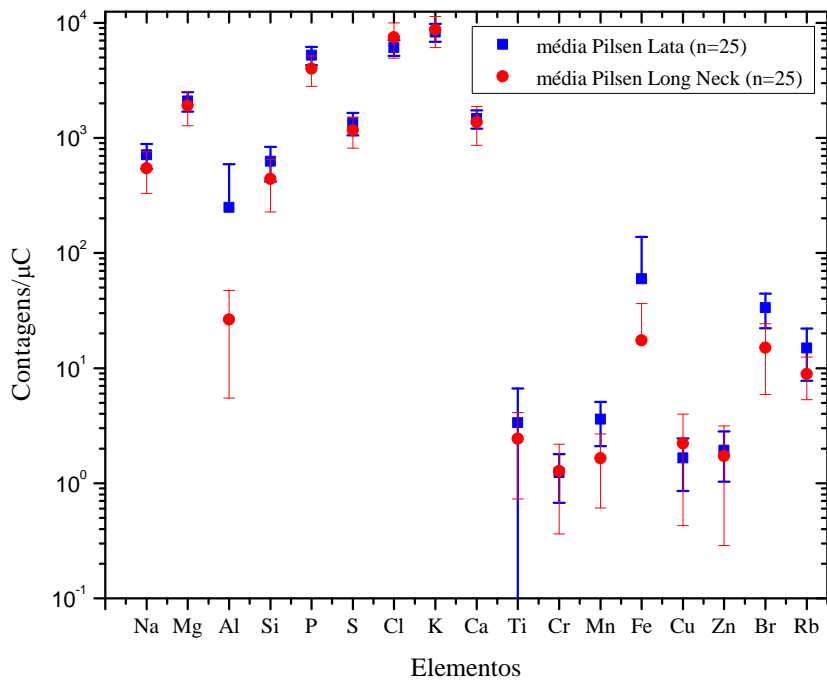


Figura 8: Comparação da cerveja pilsen acondicionada em lata e long neck.

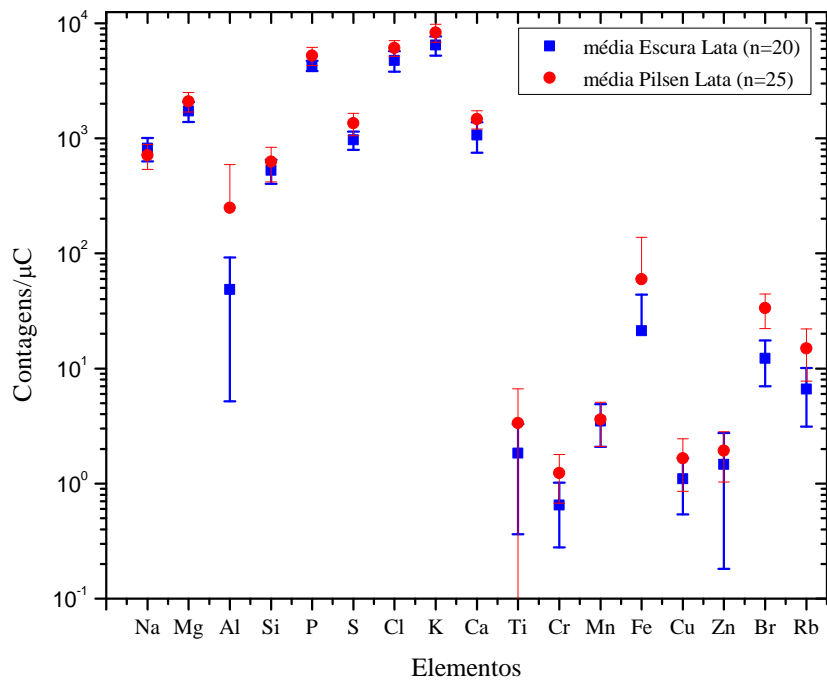


Figura 9: Comparação entre cervejas pilsen e escura acondicionadas em lata.

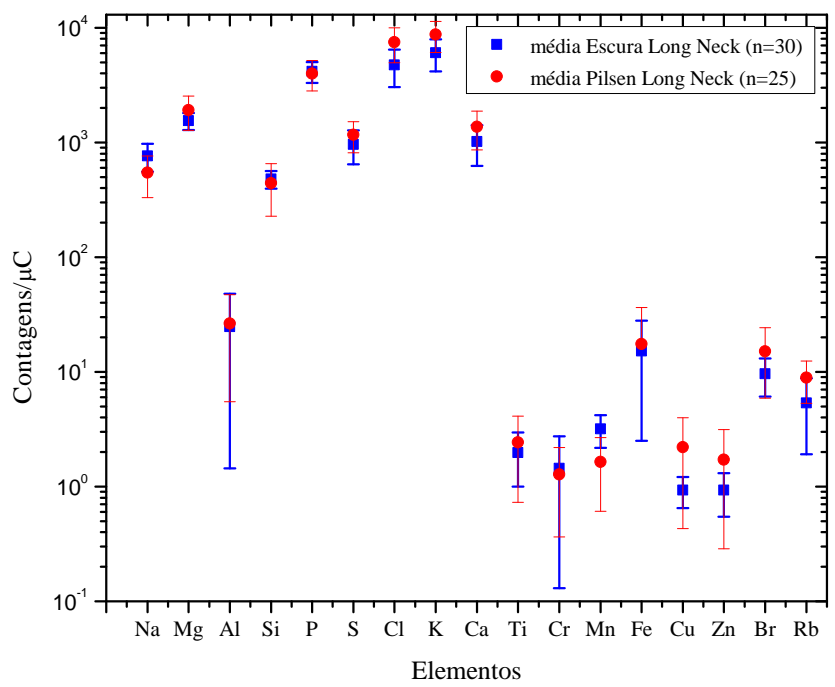


Figura 10: Comparação entre cervejas escura e pilsen acondicionadas em long neck.

5. Conclusões

Dos resultados obtidos neste estudo podemos observar que os elementos que compõe a cerveja são: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Br e Rb. O elemento com maior concentração na cerveja é o potássio (K) com cerca de 6000 ppm na cerveja escura e 8000 ppm na pilsen. Já o com menor concentração é o cobre (Cu) e o zinco (Zn) com 0.9 ppm na cerveja escura e 1.7 ppm na pilsen. Além disso, a alta variabilidade observada para elementos como o Fe e Al para o caso das cervejas em lata pode ser devido a uma possível interação entre a lata e a cerveja. Uma vez que latas de diferentes datas foram utilizadas nas medidas, grandes diferenças poderiam ser observadas se o conteúdo desses elementos na cerveja é função do tempo de armazenamento.

Fazendo as comparações de médias entre cervejas diferentes de mesma embalagem vê-se que entre cervejas pilsen e escura acondicionadas em long neck a quantidade dos elementos é basicamente a mesma, já entre cervejas em lata do tipo pilsen e escura tem se uma discrepância no Al, Fe e Br. Quando se comparou cervejas do mesmo tipo em embalagens diferentes observou-se que entre lata e long neck da cerveja do tipo pilsen tem-se uma maior quantidade de Al e Fe na cerveja em lata, enquanto que para a lata e a long neck da cerveja escura pouca diferença se pode observar. Essa diferença entre embalagens pode ser devido à própria lata, a cerveja ao ficar muito tempo dentro da embalagem pode vir a absorver alguma coisa da embalagem.

6. Bibliografia

- [1] Bamforth, C. W.; Nutritional aspects of beer – a review. *Nutrition Research* 22 (2002) 227 – 237
- [2] http://www.cervesia.com.br/historia_da_cerveja.asp visitado no dia 02/05/2010
- [3] Bamforth, C. W.; Nutritional aspects of beer – a review. *Nutrition Research* 22 (2002) 227 – 237 *apud* Darby, W.J.; Ghalioungi, P.; Grivetti, L.; *Food: the gift of Osiris*, London: Academic Press, 1977
- [4] <http://www.sindicerv.com.br/tipo-cerveja.php> visitado no dia 02/05/2010
- [5] <http://www.papodebar.com/tomai-chucrutz-brasil-ja-e-quarto-maior-produtor-de-cervejas/> visitado no dia 16/06/2010
- [6] Angela Alcázar, Fernando Pablos, M^a. Jesús Martín, A. Gustavo González; Multivariate characterisation of beers according to their mineral content; *Talanta* 57 (2002) 45-52
- [7] Yoneama, M.L.; Dias, J.F.; Estudos Ambientais em Candiota – Carvão e seus impactos. Espectroscopia por emissão de raios X induzida por partículas. 2004; 209 – 215
- [8] Johansson, S.A.E.; Campbell, J.L.; Malmqvist, K.G.; Particle-induced X-ray emission spectrometry (PIXE); New York: John Wiley and Sons, 1995
- [9] Chu, W.K.; Backscattering Spectrometry. New York, Academic Press, 1978.
- [10] The GUPIXWIN manual and user-guide, Version 2.1, *GUPIXWIN_Manual.pdf*, disponível para download em <http://pixe.physics.uoguelph.ca/gupix/about/>
- [11] SIMNRA Manual, disponível no menu “Help” do program ou através do site oficial: <http://www.rzg.mpg.de/~mam/>