

Capítulo 4

Medições (laboratoriais X processo) e Cálculos

O presente capítulo visa expor e discutir todos os resultados obtidos, em laboratório ou em linha, através dos métodos aplicáveis ao SMV para identificação do tipo de bebida. Foram obtidos e comparados valores de densidade e pH (ambos os métodos cogitados pelo CenPRA para integrar o SMV); de condutividade (método atualmente aplicado em todos os SMVs já instalados nas fábricas de Cerveja); e de índice de refração através de um sensor à fibra óptica do tipo monomodo e do tipo multimodo, separadamente (novo método proposto para a diferenciação de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas). Ao final do Capítulo, calcula-se a incerteza de medição de alguns resultados obtidos com os principais métodos avaliados: condutividade e índice de refração.

4.1

Densidade absoluta: resultados obtidos nos laboratórios das Unidades e na linha de produção da AmBev

Durante a elaboração da Medida Provisória nº 2.158-35, cogitou-se a utilização do método de densimetria para a diferenciação de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas. Já naquela época, a AmBev previa que pudesse haver algum tipo de superposição de faixas de condutividade entre refrigerantes e cervejas, portanto, decidiu avaliar também o método de densimetria. Com este intuito, instalou em linha um protótipo de um densímetro para medir a densidade absoluta das bebidas na linha de envase da Fábrica Águas Claras do Sul (Viamão), em paralelo a um protótipo do condutivímetro.

Embora este método tenha sido descartado na versão final da MP, decidiu-se avaliá-lo nesta dissertação, para efeito de comparação com o método de condutividade e índice de refração. Foram solicitadas a trinta (30) Unidades da AmBev medições de densidade absoluta (g/cm^3) em 3 amostras diferentes de cada produto (exceto para os chás). A Tabela 1 e a Figura 18 mostram para cada produto os valores das médias obtidas para as três (3) amostras e para a média global. Como se pode observar, há baixa dispersividade entre os valores de cada

amostra para todos os produtos, exceto a cerveja Malzbier Brahma, o que poderia ser explicado por um eventual erro analítico entre os resultados recebidos.

As três (3) primeiras colunas da Tabela 2 resumem as faixas de densidade para cada tipo de produto a ser comercializado (refrigerante, refrigerante diet e light, cerveja do tipo Pilsen e cerveja escura), mostrando que não há superposição entre faixas de produtos alcoólicos e não-alcoólicos, embora a faixa do refrigerante sabor limão Teem está muito próxima da faixa da cerveja escura Malzbier. Os refrigerantes diet/light têm densidade absoluta mais baixa, entre $0,9994 \text{ g/cm}^3$ e $0,9998 \text{ g/cm}^3$. As cervejas do tipo Pilsen têm densidade absoluta entre $1,0068 \text{ g/cm}^3$ e $1,0112 \text{ g/cm}^3$, e as cervejas escuras têm densidade absoluta entre $1,0284 \text{ g/cm}^3$ e $1,0305 \text{ g/cm}^3$. A Tônica Antarctica ($1,0306 \text{ g/cm}^3$ e $1,0311 \text{ g/cm}^3$) e os refrigerantes do tipo normal ($1,0386 \text{ g/cm}^3$ e $1,0481 \text{ g/cm}^3$) têm densidades absolutas mais altas.

Numa segunda etapa de avaliação do método de densimetria, comparou-se as densidades absolutas obtidas nas trinta (30) Unidades da AmBev com os valores obtidos pelo protótipo instalado em linha na Fábrica Águas Claras do Sul, para algumas bebidas (quarta coluna da Tabela 2). A comparação entre os valores da terceira e da quarta coluna da Tabela 2 mostra que os valores medidos em linha são próximos dos valores medidos em laboratório, embora não sejam exatamente iguais. Apesar de não se ter tido acesso aos valores de densidade absoluta medidos em linha para todos os produtos, os valores obtidos parecem indicar que este método seria eficiente na diferenciação entre bebidas alcoólicas e não-alcoólicas.

Tabela 1: Resultados de densidade absoluta (g/cm^3) obtidos por laboratórios das Unidades AmBev

RESULTADOS DE DENSIDADE (g/cm^3) OBTIDOS NOS LABORATÓRIOS AMBEV				
PRODUTO	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	MÉDIA
SUKITA	1,0481	1,0471	1,0473	1,0475
PEPSI COLA	1,0437	1,0435	1,0433	1,0435
SODA LIMONADA ANTARCTICA	1,0432	1,0426	1,0445	1,0434
PEPSI TWIST	1,0424	1,0426	1,0429	1,0426
GUARANA CHP ANTARCTICA	1,0386	1,0401	1,0391	1,0393
TEEM	1,0433	1,0450	1,0444	1,0442
TONICA ANTARCTICA	1,0306	1,0307	1,0311	1,0308
GUARANA CHP ANTARCTICA DIET	0,9996	0,9995	0,9996	0,9996
TONICA ANTARCTICA DIET	0,9997	0,9996	0,9996	0,9996
PEPSI COLA LIGHT	0,9994	0,9994	0,9993	0,9994
PEPSI TWIST LIGHT	0,9993	1,0000	1,0002	0,9998
BRAHMA CHOPP	1,0101	1,0099	1,0098	1,0099
SKOL	1,0100	1,0100	1,0095	1,0098
ANTARCTICA PILSEN	1,0109	1,0101	1,0110	1,0107
POLAR EXPORT	1,0105	1,0107	1,0099	1,0104
BRAHMA EXTRA	1,0111	1,0113	1,0112	1,0112
ANTARCTICA PILSEN EXTRA CRISTAL	1,0099	1,0100	1,0123	1,0107
BRAHMA LIGHT	1,0077	1,0077	1,0080	1,0078
OURO FINO	1,0089	1,0086	1,0095	1,0090
CARLSBERG	1,0070	1,0067	1,0067	1,0068
MILLER	1,0083	1,0097	1,0096	1,0092
CARACU	1,0274	1,0290	1,0287	1,0284
MALZBIER BRAHMA	1,0311	1,0251	1,0353	1,0305

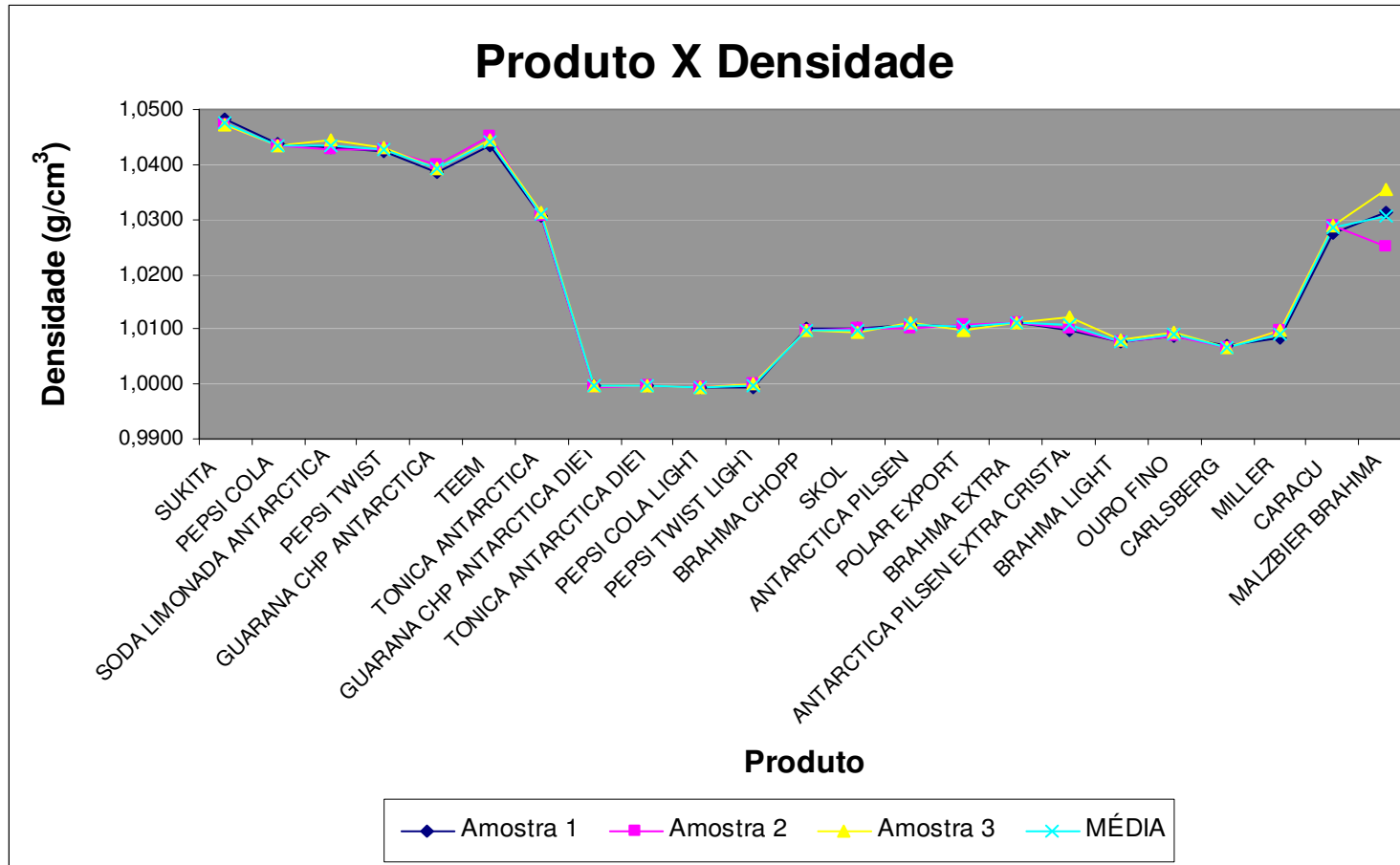


Figura 18: Tipos de Bebidas X Densidade Absoluta, resultados obtidos em alguns laboratórios de Unidades AmBev

Tabela 2: Densidades Absolutas medidas nos laboratórios comparados às obtidas pelo protótipo instalado em linha de envase.

PRODUTO	TIPO	DADOS DOS LABORATÓRIOS (g/cm ³)	DADOS COLETADOS IN-LINE (+/- 0,001 g/cm ³)
		FAIXA	MÉDIA
Guaraná Antarctica	REFRIGERANTE	1,0386 - 1,0481	1,039
Pepsi Twist			1,041
Soda Limonada			1,043
Sukita			
Pepsi Cola		1,0433 - 1,0450	
Teem			
Água Tônica			1,031
Guaraná Antarctica Diet	REFRIGERANTE DIET/LIGHT	0,9994 - 0,9998	1,001
Água Tônica Diet			
Pepsi Twist Light			1,001
Pepsi Cola Light			
Brahma	CERVEJA PILSEN	1,0068 - 1,0112	1,009
Skol			1,009
Antarctica			1,009
Polar			
Brahma Extra			
Antarctica Cristal			
Brahma Light			
Ouro Fino			
Carlsberg			
Miller			
Caracu	CERVEJA ESCURA	1,0284 - 1,0305	
Malzbier Brahma			

Numa terceira etapa de avaliação do método de densimetria, mediu-se a densidade absoluta dos produtos utilizados pela AmBev para a limpeza da linha de enchimento. O objetivo desta avaliação foi evitar cobrança indevida de impostos, pois o SMV deve ser capaz de distinguir os produtos de limpeza (para os quais não deve ser cobrado imposto) das bebidas comercializadas (para as quais cobra-se imposto).

A Tabela 3 mostra resultados obtidos pelo protótipo do densímetro instalado na linha de envase da Fábrica Águas Claras do Sul (Viamão). O processo de limpeza, chamado de CIP (*Cleaning in Place*), envolve a utilização de produtos de limpeza como, por exemplo, solução de soda, denotada na tabela por CIP Soda. Observa-se que a densidade medida em linha para o CIP Soda foi de $1,000 \text{ g/cm}^3$, valor muito próximo da densidade medida em linha para os refrigerantes do tipo diet e light, $1,001 \text{ g/cm}^3$ (Tabela 2).

Tabela 3: Resultados obtidos através do protótipo do densímetro instalado na linha de envase da Fábrica Águas Claras do Sul (Viamão) da AmBev. Observa-se que durante o processo de CIP, a densidade absoluta fica muito próxima à faixa dos refrigerantes diet/light.

Data e Hora	Densidade g/cm3		Status
quinta-feira, 17 de abril de 2003 21:10:00:000	1,010	1,010	Cerv. Skol
quinta-feira, 17 de abril de 2003 21:20:00:000	1,010	1,010	Cerv. Skol
quinta-feira, 17 de abril de 2003 21:30:00:000	1,008	1,005	Início Enxague
quinta-feira, 17 de abril de 2003 21:40:00:000	1,000	1,000	Enxague
quinta-feira, 17 de abril de 2003 21:50:00:000	1,000	1,000	CIP Soda
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:00:00:000	1,000	1,000	CIP Soda
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:10:00:000	1,000	1,000	CIP Soda
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:20:00:000	1,000	1,000	Neutralização
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:30:00:000	1,000	1,000	Neutralização
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:40:00:000	1,000	1,000	Resfriamento
quinta-feira, 17 de abril de 2003 22:50:00:000	1,000	1,000	Resfriamento
quinta-feira, 17 de abril de 2003 23:00:00:000	1,002	0,999	Linha Parada
quinta-feira, 17 de abril de 2003 23:10:00:000	1,002	1,001	Linha Parada
quinta-feira, 17 de abril de 2003 23:20:00:000	1,009	1,000	Linha Parada
quinta-feira, 17 de abril de 2003 23:30:00:000	1,000	1,000	Linha Parada

Os resultados discutidos neste item mostram que a densimetria poderia ser utilizada como um método para a distinção entre as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas da AmBev sendo, portanto, possível controlar a cobrança de impostos para estes dois tipos de bebidas (cujos impostos têm valores diferentes). No entanto, a mistura de produtos utilizada na limpeza da linha de envase apresenta densidade absoluta muito próxima da densidade absoluta de refrigerantes do tipo

diet e light, o que causaria uma cobrança indevida de impostos. Uma possível solução para este problema seria alterar os produtos de limpeza de modo a afastar o valor de sua densidade dos valores de densidade de todas as bebidas comercializadas. Antes que se pudesse investigar a possibilidade de implementar esta solução, e de medir as densidades de outras bebidas AmBev (por exemplo, chás), a Medida Provisória nº 2.158-35 foi publicada explicitando que o método de diferenciação de bebidas seria o condutivímetro. A AmBev, prevendo que pudesse haver algum tipo de superposição de faixas de condutividade entre refrigerantes e cervejas, solicitou ao CenPRA a utilização nas linhas de envase de um densímetro juntamente com o condutivímetro. No entanto, o CenPRA vetou qualquer tipo de equipamento extra, apoiando-se no fato que a Medida Provisória nº 2.158-35 deixou claro que o único equipamento a ser utilizado como identificador da bebida deve ser o condutivímetro.

4.2

pH (potenciometria): resultados obtidos no Laboratório Central da AmBev

Um outro método para a diferenciação de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas no SMV que poderia ter sido considerado durante a elaboração da Medida Provisória nº 2.158-35 é a potenciometria (medição de pH). Com o intuito de testar a eficiência deste método, realizou-se algumas medições em laboratório do pH de algumas bebidas da AmBev. Os resultados são discutidos neste item.

O procedimento utilizado no Laboratório Central da AmBev para a obtenção de resultados de pH em amostras de refrigerantes (refrigerantes não-alcoólicos e não-carbonatados) e cervejas foi:

- realização da calibração do pHmetro de bancada da marca Mettler Toledo modelo M10 utilizando-se soluções-tampão 4 e 7;
- leitura das amostras, previamente resfriadas em geladeira (temperatura média entre 4,0°C e 6,0°C), anotando-se o valor do pH e, em seguida, da temperatura, utilizando-se um termômetro de líquido em vidro, da marca Incotherm e resolução 0,1°C, previamente calibrado a partir de um termômetro padrão da marca Incotherm e resolução 0,05°C (por sua vez devidamente calibrado pelo Inmetro);

- limpeza do eletrodo do pHmetro com água destilada entre leituras;
- realização de 15 leituras durante o aumento da temperatura das amostras.

As Tabelas 4 e 5 mostram os valores medidos do pH para alguns refrigerantes e cervejas AmBev, respectivamente, em função da temperatura. As Figuras 18 e 19 mostram os gráficos dos dados contidos nas Tabelas 4 e 5 respectivamente.

A fim de facilitar a comparação dos resultados de pH dos refrigerantes e das cervejas, os dados dos gráficos das Figuras 18 e 19 foram combinados no gráfico da Figura 20. Ao observarmos os resultados obtidos próximos à faixa de temperatura de envase (aproximadamente de 3,0 a 9,0°C), são identificadas faixas definidas e sem superposição para as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas:

- Bohemia (cerveja do tipo escura): 4,07 a 4,13
- Brahma, Antarctica e Skol (cervejas do tipo Pilsen): 3,92 a 3,98
- Liber (cerveja sem álcool): 4,29 a 4,33
- Lipton Limão e Lipton Pêssego (chás), Sukita (refrigerante com suco de laranja), Pepsi Twist (refrigerante com suco de limão) e Guaraná Diet (refrigerante do tipo diet): 3,17 a 3,44
- Pepsi (refrigerante do tipo cola) e Tônica Diet (refrigerante do tipo diet): 2,76 a 2,89

As cervejas alcoólicas têm o pH mais alto que os refrigerantes, embora a cerveja não alcoólica (Liber) tenha o pH mais alto de todas as bebidas testadas. O valor alto da cerveja Liber (4,07 a 4,13) não apresenta um problema, pois não há superposição com as cervejas com álcool (3,92 a 3,98). Para se fazer uma conclusão definitiva sobre a eficiência deste método na diferenciação de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas no SMV, seria necessário fazer medições de pH para as outras bebidas AmBev (por exemplo, cervejas escuras), mas estas medições não foram realizadas pelo motivo discutido ao final deste item.

Uma análise dos dados contidos nas Tabelas 4 e 5 e nas Figuras 19 - 21 mostra que os valores de pH para os refrigerantes e cervejas testados não têm uma dependência com a temperatura, pelo menos na faixa de temperaturas testadas. Considerando a variação na temperatura de envase das bebidas (aproximadamente de 3,0°C a 9,0°C), essa falta de dependência com a temperatura é uma característica desejável no método de diferenciação das bebidas.

Tabela 4: Resultados de pH em sete (7) refrigerancs. Análises realizadas no Laboratório Central da AmBev

	01 - Lipton Limão 28/04/05 PJ41182 L12142		02 - Lipton Pêssego 13/06/05 PJ4170 L10108		03 - Pepsi Twist 01/05/05 PJ4217 L21100		04 - G.A.D. 14/09/04 PJ4078 L21200		05 - Tônica Diet 30/11/04 PJ4155 L20947		06 - Sukita 06/02/05 MG4133 1 16:58		07 - Pepsi Amostra Interlaboratorial 2º Teste	
	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)
1	3,37	5,1	3,17	5,3	3,20	6,1	3,21	5,9	2,83	4,9	3,29	5,5	2,94	6,3
2	3,30	7,4	3,25	7,5	3,33	8,8	3,23	9,2	2,80	6,7	3,39	6,9	2,82	7,9
3	3,36	9,9	3,25	10,2	3,33	11,3	3,24	11,2	2,88	7,5	3,49	7,7	2,76	8,2
4	3,39	12,2	3,24	12,3	3,25	12,8	3,22	13,0	2,89	8,7	3,44	8,5	2,76	8,8
5	3,35	13,2	3,23	13,4	3,30	14,3	3,26	14,1	2,88	9,7	3,49	10,3	2,76	9,4
6	3,35	14,5	3,23	14,5	3,32	15,4	3,26	15,0	2,85	10,8	3,47	10,7	2,77	9,9
7	3,35	15,2	3,22	15,3	3,28	16,0	3,27	16,3	2,85	11,5	3,50	11,6	2,73	10,7
8	3,34	16,4	3,22	16,2	3,27	16,9	3,24	16,9	2,85	12,5	3,54	12,7	2,75	11,5
9	3,34	16,7	3,25	17,3	3,25	17,1	3,26	17,5	2,83	13,0	3,43	13,1	2,75	12,0
10	3,36	17,9	3,22	17,8	3,28	17,5	3,24	17,7	2,85	13,6	3,46	13,4	2,77	12,3
11	3,33	18,0	3,22	18,4	3,33	18,3	3,23	18,3	2,88	13,9	3,50	13,9	2,78	12,6
12	3,32	18,8	3,21	18,7	3,29	18,6	3,23	18,8	2,86	14,3	3,50	14,3	2,80	13,2
13	3,32	18,9	3,21	19,3	3,30	18,8	3,25	19,2	2,86	14,8	3,46	14,6	2,78	14,1
14	3,33	19,4	3,20	19,6	3,34	19,4	3,26	19,5	2,86	15,2	3,49	14,9	2,77	15,6
15	3,32	19,7	3,20	19,8	3,31	19,7	3,24	19,8	2,86	15,9	3,48	15,6	2,74	16,3
mín.	3,30	5,1	3,17	5,3	3,20	6,1	3,21	5,9	2,80	4,9	3,29	5,5	2,73	6,3
máx.	3,39	19,7	3,25	19,8	3,34	19,7	3,27	19,8	2,89	15,9	3,54	15,6	2,94	16,3

Tabela 5: Resultados de pH em quatro (4) cervejas alcoólicas e uma (1) cerveja não alcoólica. Análises realizadas no Laboratório Central da AmBev

	08 - Brahma 11/01/05 JA11:37 2		09 - Antarctica 06/01/05 JA12:54 2		10 - Skol 23/01/05 JA05:00 2		11 - Bohemia 16/01/05 JA22:33 2		12 - Liber 03/12/04 JA09:32 2	
	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)
1	3,92	4,0	3,92	4,3	3,92	3,6	4,07	4,5	4,29	5,0
2	3,93	5,5	3,95	6,3	3,96	5,5	4,11	6,1	4,32	6,9
3	3,95	6,7	3,94	7,2	3,98	6,9	4,13	7,8	4,33	8,8
4	3,94	8,4	3,94	8,8	3,98	9,1	4,13	9,6	4,34	11,0
5	3,94	9,5	3,95	9,9	3,97	10,1	4,12	10,8	4,34	11,6
6	3,93	10,6	3,93	11,1	3,95	11,1	4,14	11,4	4,33	12,8
7	3,96	11,4	3,93	11,7	3,97	12,0	4,12	12,3	4,34	13,6
8	3,93	12,2	3,94	12,5	3,97	12,3	4,13	13,1	4,35	13,9
9	3,93	13,0	3,93	13,1	3,97	13,4	4,13	13,5	4,33	14,6
10	3,96	13,7	3,95	13,5	3,97	13,7	4,13	13,8	4,33	14,8
11	3,95	14,1	3,93	13,9	3,95	14,3	4,13	14,0	4,34	15,0
12	3,96	14,3	3,95	14,3	3,96	14,5	4,13	14,6	4,33	15,4
13	3,94	14,6	3,95	14,8	3,97	14,7	4,13	14,8	4,33	15,7
14	3,97	14,9	3,95	15,2	3,98	15,2	4,12	15,3	4,33	15,8
15	3,96	15,3	3,95	15,5	3,98	15,4	4,14	15,6	4,34	16,2
mín.	3,92	4,0	3,92	4,3	3,92	3,6	4,07	4,5	4,29	5,0
máx.	3,97	15,3	3,95	15,5	3,98	15,4	4,14	15,6	4,35	16,2

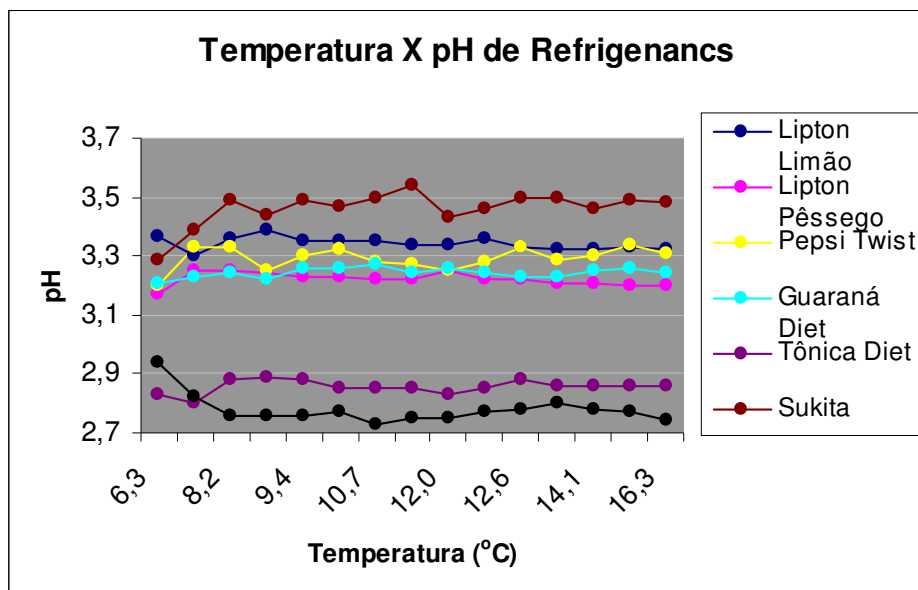


Figura 19 – Valores de pH em função da temperatura de alguns Refrigerancs (refrigerantes e não-alcoólicos como chás).

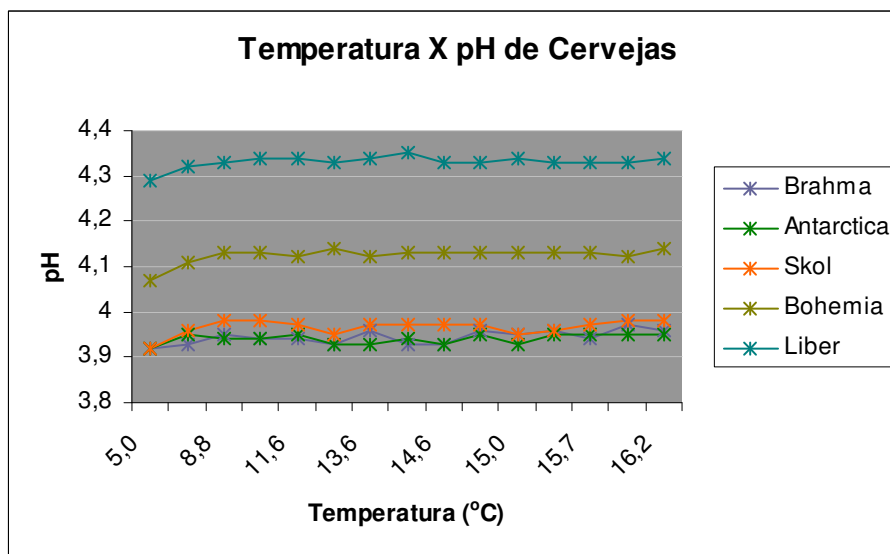


Figura 20 – Valores de pH em função da temperatura de algumas Cervejas.

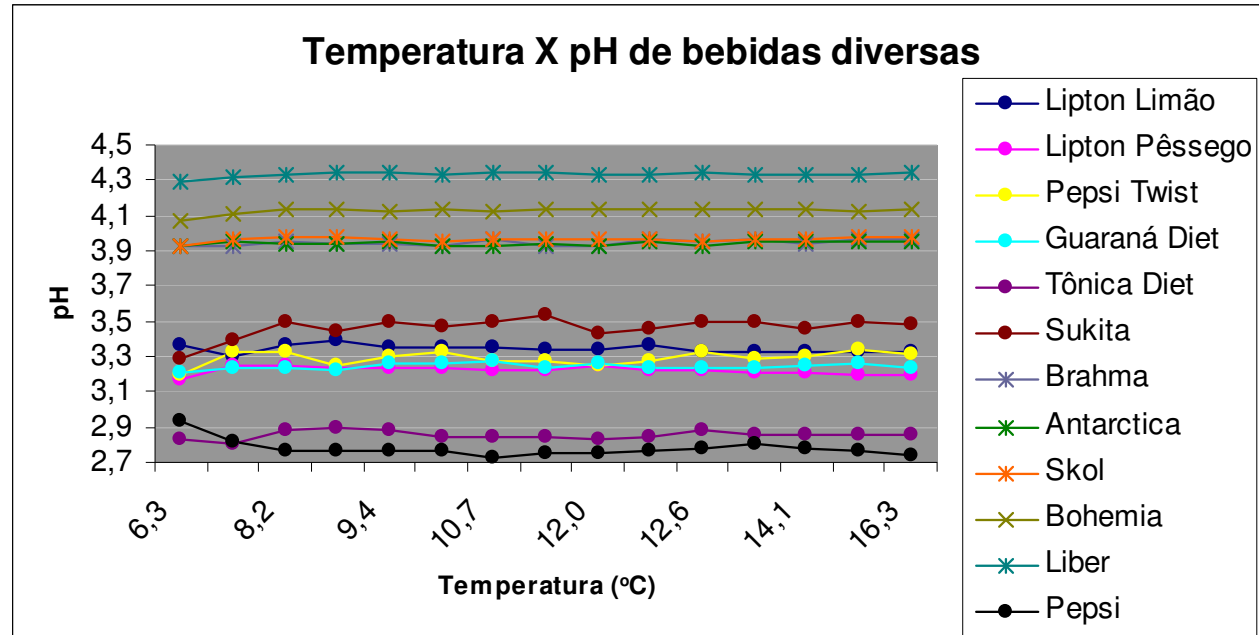


Figura 21 – Valores de pH em função da temperatura para diversos tipos de bebidas.

Apesar das medições de pH terem apresentado resultados que parecem indicar que este método seria eficiente na diferenciação de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas, o método não foi considerado seguro o suficiente para ser utilizado com os SMVs instalados nas linhas de engarrafamento de bebidas. Isso porque o pHmetro tem uma parte de vidro que poderia se romper com a alta vazão em linha, portanto, não foi homologado para essa função. Como a ADE Cofis nº 20 cita no Anexo Único, item 2.2.1, que os sensores que realizam as medições para a distinção entre as bebidas deverão estar em permanente interação com os líquidos, o uso do pHmetro seria arriscado.

Além do risco de se quebrar dentro das bebidas envasadas, a potenciometria facilitaria a sonegação fiscal. Um pHmetro age como uma “antena”, captando todo e qualquer ruído causado por interferência eletromagnética. Além de gerar erros devido à interferência de outros equipamentos, esta propriedade torna o pHmetro vulnerável à interferência eletromagnética externa, facilitando, portanto, a alteração dos dados com o objetivo de sonegar imposto. Uma possível solução para este problema seria colocar filtros de linha para bloquear tal efeito, mas isso tornaria o processo no mínimo duas vezes mais caro.

Os resultados discutidos neste item mostram que medições de pH são adequadas para a distinção entre as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas da AmBev, pois estas possuem pHs distribuídos em diferentes faixas sem superposição. Além do mais, os valores de pH não variam em função da temperatura para as temperaturas de envase. No entanto, o uso do pHmetro na linha de envase de bebidas aumentaria o risco de contaminação por vidro, caso se quebrasse, e facilitaria a sonegação, pois é vulnerável a campos eletromagnéticos externos.

4.3

Condutividade: resultados obtidos no Laboratório Central e na linha de produção da AmBev

Conforme já mencionado, a Medida Provisória nº 2.158-35 definiu que o método de diferenciação de bebidas a ser utilizado com os SMVs é a medição de condutividade. Com o intuito de testar a eficiência deste método, realizou-se

algumas medições da condutividade de algumas bebidas da AmBev em laboratório e na linha de envase. Os resultados são discutidos neste item.

O procedimento utilizado no Laboratório Central da AmBev para a obtenção de resultados de condutividade em amostras de refrigerantes e cervejas resumiu-se na:

- realização da calibração do condutímetro da marca Digimed e modelo com solução 146,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (com rastreabilidade NIST);
- leitura das amostras previamente resfriadas em geladeira (temperatura média entre 4,0°C e 6,0°C), anotando-se o valor da condutividade e, em seguida, da temperatura, utilizando-se um termômetro de líquido em vidro com resolução 0,1°C e previamente calibrado;
- realização da limpeza da célula do condutímetro com água destilada entre leituras;
- realização de 15 leituras conforme o aumento da temperatura das amostras.

As Tabelas 6 e 7 mostram os valores medidos da condutividade para alguns refrigerantes e cervejas AmBev, respectivamente, em função da temperatura. A Figura 22 mostra o gráfico combinado dos dados contidos nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Resultados de condutividade em refrigerantes. Análises realizadas no Laboratório Central da AmBev.

	01 - Lipton Limão 28/04/05 PJ41182 L12142		02 - Lipton Pêssego 13/06/05 PJ4170 L10108		03 - Pepsi Twist 01/05/05 PJ4217 L21100		04 - G.A.D. 14/09/04 PJ4078 L21200		05 - Tônica Diet 30/11/04 PJ4155 L20947		06 - Sukita 06/02/05 MG4133 1 16:58		07 - Pepsi Amostra Interlaboratorial 2º Teste	
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	503	5,1	495	5,3	408	6,1	560	5,9	671	4,9	431	5,5	762	6,3
2	556	7,4	532	7,5	447	8,8	591	9,2	707	6,7	442	6,9	774	7,9
3	592	9,9	565	10,2	482	11,3	633	11,2	732	7,5	465	7,7	795	8,2
4	620	12,2	602	12,3	500	12,8	663	13,0	758	8,7	478	8,5	813	8,8
5	652	13,2	621	13,4	523	14,3	687	14,1	784	9,7	497	10,3	825	9,4
6	670	14,5	641	14,5	540	15,4	707	15,0	786	10,8	510	10,7	836	9,9
7	693	15,2	655	15,3	551	16,0	720	16,3	812	11,5	520	11,6	847	10,7
8	706	16,4	670	16,2	571	16,9	732	16,9	825	12,5	541	12,7	856	11,5
9	721	16,7	686	17,3	581	17,1	746	17,5	849	13,0	546	13,1	865	12,0
10	729	17,9	698	17,8	579	17,5	752	17,7	852	13,6	551	13,4	873	12,3
11	740	18,0	705	18,4	587	18,3	762	18,3	869	13,9	558	13,9	882	12,6
12	751	18,8	715	18,7	591	18,6	768	18,8	879	14,3	564	14,3	886	13,2
13	758	18,9	719	19,3	595	18,8	776	19,2	881	14,8	570	14,6	916	14,1
14	766	19,4	729	19,6	602	19,4	774	19,5	887	15,2	578	14,9	932	15,6
15	771	19,7	733	19,8	605	19,7	777	19,8	908	15,9	585	15,6	943	16,3
mín.	503	5,1	495	5,3	408	6,1	560	5,9	671	4,9	431	5,5	762	6,3
máx.	771	19,7	733	19,8	605	19,7	777	19,8	908	15,9	585	15,6	943	16,3

Tabela 7: Resultados de condutividade em cervejas. Análises realizadas no Laboratório Central da AmBev.

	08 - Brahma 11/01/05 JA11:37 2		09 - Antarctica 06/01/05 JA12:54 2		10 - Skol 23/01/05 JA05:00 2		11 - Bohemia 16/01/05 JA22:33 2		12 - Liber 03/12/04 JA09:32 2	
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)
1	742	4,0	774	4,3	739	3,6	826	4,5	1293	5,0
2	788	5,5	816	6,3	800	5,5	877	6,1	1404	6,9
3	840	6,7	857	7,2	842	6,9	925	7,8	1549	8,8
4	869	8,4	917	8,8	899	9,1	975	9,6	1620	11,0
5	915	9,5	936	9,9	932	10,1	1005	10,8	1651	11,6
6	936	10,6	961	11,1	951	11,1	1021	11,4	1703	12,8
7	949	11,4	986	11,7	967	12,0	1048	12,3	1734	13,6
8	982	12,2	1004	12,5	985	12,3	1065	13,1	1752	13,9
9	998	13,0	1028	13,1	997	13,4	1072	13,5	1788	14,6
10	1023	13,7	1046	13,5	1009	13,7	1088	13,8	1772	14,8
11	1037	14,1	1052	13,9	1016	14,3	1096	14,0	1773	15,0
12	1041	14,3	1068	14,3	1037	14,5	1099	14,6	1806	15,4
13	1052	14,6	1074	14,8	1036	14,7	1116	14,8	1794	15,7
14	1056	14,9	1080	15,2	1049	15,2	1126	15,3	1812	15,8
15	1068	15,3	1099	15,5	1054	15,4	1128	15,6	1830	16,2
mín.	742	4,0	774	4,3	739	3,6	826	4,5	1293	5,0
máx.	1068	15,3	1099	15,5	1054	15,4	1128	15,6	1830	16,2

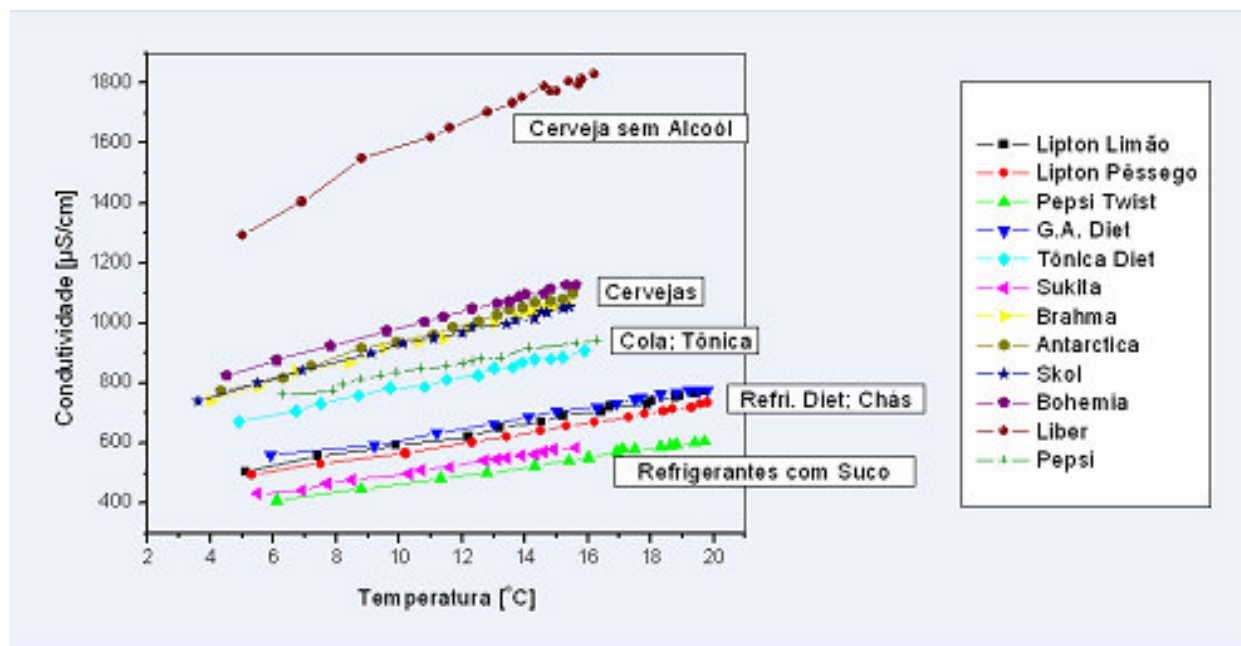


Figura 22 – Medidas de Temperatura X Condutividade de diversos tipos de bebidas.

Ao observarmos os resultados obtidos em laboratório próximos à faixa de temperatura de envase (aproximadamente de 3,0 a 9,0°C), são identificadas algumas faixas definidas para as diferentes bebidas:

- Liber (cerveja sem álcool): 1293 $\mu\text{S/cm}$ a 1549 $\mu\text{S/cm}$
- Bohemia (cerveja do tipo escura), Brahma, Antarctica e Skol (cervejas do tipo pilsen) e Pepsi (refrigerante tipo cola): 742 $\mu\text{S/cm}$ a 925 $\mu\text{S/cm}$
- Tônica Diet (refrigerante do tipo diet): 671 $\mu\text{S/cm}$ a 758 $\mu\text{S/cm}$
- Guaraná Diet (refrigerante do tipo diet): 560 $\mu\text{S/cm}$ a 591 $\mu\text{S/cm}$
- Lipton Limão e Lipton Pêssego (chás): 495 $\mu\text{S/cm}$ a 556 $\mu\text{S/cm}$
- Sukita (refrigerante com suco de laranja) e Pepsi Twist (refrigerante com suco de limão): 408 $\mu\text{S/cm}$ a 478 $\mu\text{S/cm}$

O maior problema observado nestes resultados é a superposição de valores de condutividade entre os refrigerantes Pepsi e Tônica Diet e as cervejas Bohemia, Brahma, Antarctica e Skol.

Tabela 8: Resultados de condutividade em Linha de diversos tipos de bebidas. Dados obtidos durante o envase na Linha de latas da Filial Rio de Janeiro.

n	Condutividade em Linha ($\mu\text{S/cm}$)							
	SKOL	TÔNICA DIET	GUARANA	TÔNICA	SUKITA	PEPSI	PEPSI TWIST LIGHT	PEPSI TWIST
1	857	713	291	508	429	861	569	440
2	864	720	288	503	425	839	567	442
3	852	721	287	508	427	845	561	439
4	854	711	285	523	429	823	568	446
5	851	717	285	519	427	824	568	521
6	851	715	285	511	428	816	566	477
7	848	716	288	518	428	819	562	459
8	849	714	288	531	423	825	566	446
9	850	713	287	560	427	817	566	444
11	848	720	287	587	426	808	566	436
12	850	701	288	593	428	801	567	442
13	852	702	288	573	428	822	566	442
14	853	709	282	585	428	815	568	441
15	854	708	288	581	428	840	564	444
16	854	711	288	582	423	808	570	445
mín	848	701	282	503	423	801	561	436
máx	864	721	291	593	429	861	570	521
média	852	713	287	545	427	824	566	451
s	4,051	6,006	2,070	34,930	1,907	15,938	2,434	21,806

A Tabela 8 mostra os valores medidos da condutividade em linha de envase para diversos tipos de bebidas. A Figura 23 mostra o gráfico dos dados contidos na Tabela 8.

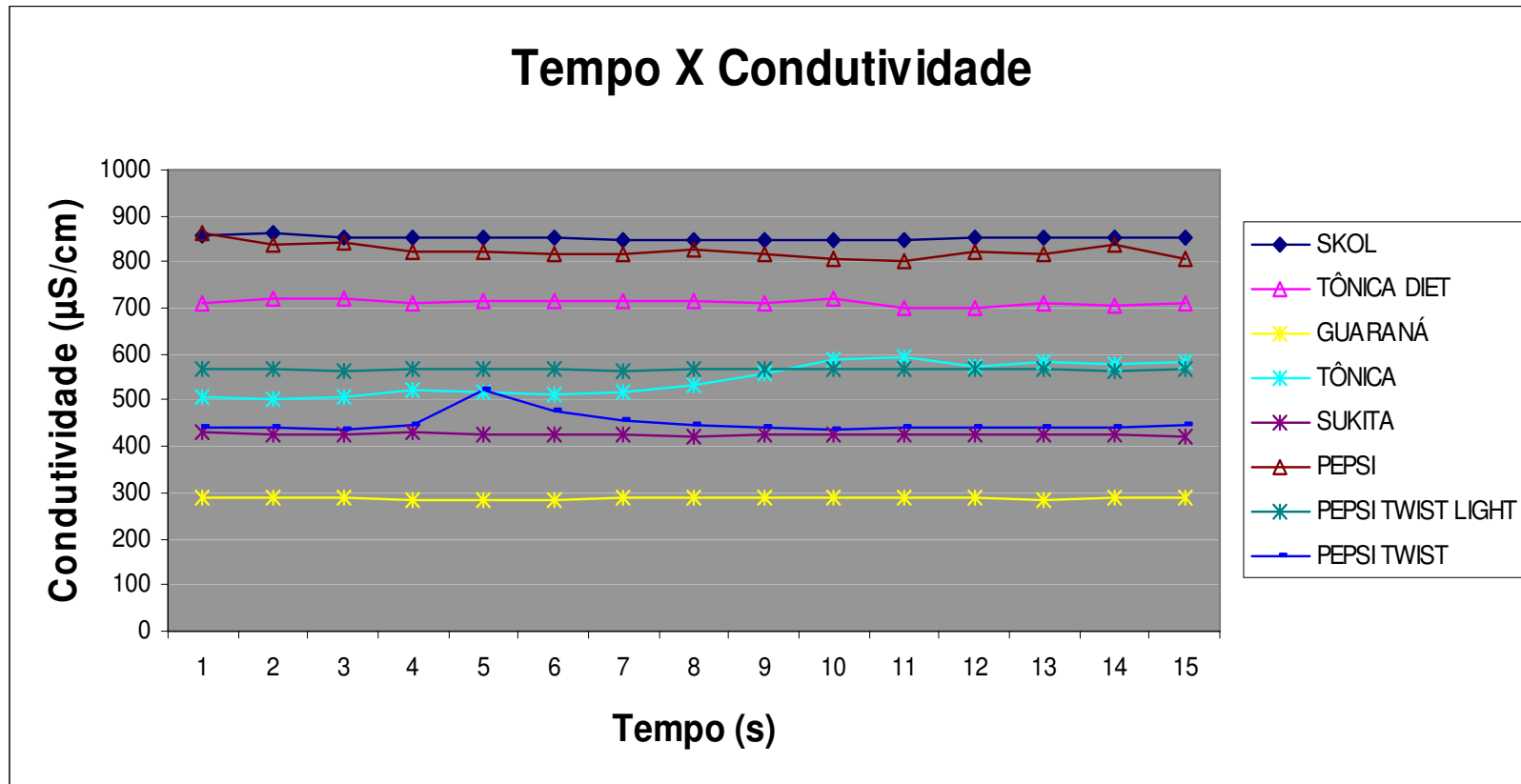


Figura 23 – Medidas de Tempo X Condutividade de diversos tipos de bebidas na Linha de Envase. (Dados conseguidos através do condutivímetro que faz parte do SMV já instalado e devidamente homologado na linha de envase de latas da Filial Rio de Janeiro (AmBev).

Ao observarmos os resultados obtidos em linha, são identificadas algumas faixas definidas para as diferentes bebidas:

- Skol (cervejas do tipo pilsen): 848 $\mu\text{S/cm}$ a 865 $\mu\text{S/cm}$
- Pepsi (refrigerante do tipo cola): 801 $\mu\text{S/cm}$ a 861 $\mu\text{S/cm}$
- Tônica Diet (refrigerante do tipo diet): 701 $\mu\text{S/cm}$ a 743 $\mu\text{S/cm}$
- Pepsi Twist Light (refrigerante do tipo diet) e Tônica (refrigerante com quinino): 495 $\mu\text{S/cm}$ a 670 $\mu\text{S/cm}$
- Sukita (refrigerante com suco de laranja) e Pepsi Twist (refrigerante com suco de limão): 416 $\mu\text{S/cm}$ a 521 $\mu\text{S/cm}$
- Guaraná (refrigerante comum): 282 $\mu\text{S/cm}$ a 298 $\mu\text{S/cm}$

Observa-se também nos resultados obtidos em linha uma superposição das faixas do refrigerante Pepsi e da cerveja Skol. Uma vez que as demais faixas obtidas estão muito próximas às faixas obtidas com as bebidas equivalentes em laboratório, acredita-se que o problema da superposição também ocorra entre o refrigerante Pepsi e as cervejas Antarctica, Brahma e Bohemia, quando medidos em linha.

Os resultados discutidos neste item mostram que a condutividade, apesar de ser o método definido na Medida Provisória nº 2.158-35 para a diferenciação de bebidas, não é capaz de diferenciar uma das bebidas não-alcoólicas (Pepsi) das cervejas alcoólicas testadas. Além deste problema, este método facilita a sonegação fiscal, pois é vulnerável a campos eletromagnéticos externos.

4.4

Índice de refração: resultados obtidos no LSFO da PUC-Rio

Conforme mencionado no Capítulo 1, com a participação do Inmetro durante a pré-qualificação dos equipamentos de medição e avaliação dos sistemas, passou-se a se questionar a utilização do condutivímetro como equipamento identificador da bebida, já que o mesmo é vulnerável à interferência eletromagnética externa. Além do mais, a AmBev previa que haveria superposição entre os valores de condutividade de pelo menos algumas bebidas alcoólicas e não-alcoólicas, o que seria um sério problema nas enchedoras de latas, onde tanto refrigerantes quanto cervejas são envasados. Estas questões sugeriram que um novo método de diferenciação de bebidas poderia ser necessário.

Baseado na sugestão de um engenheiro do Inmetro, Valter Yoshihiko Aibe, avaliou-se a eficiência de um sensor à fibra óptica de índice de refração para a distinção de bebidas alcoólicas e não-alcoólicas. Sua principal vantagem é tornar a sonegação mais difícil, pois, ao contrário do condutivímetro, não sofre influência eletromagnética externa. Com o intuito de testar a eficiência deste método, realizou-se algumas medições em laboratório do índice de refração de algumas bebidas da AmBev. Os resultados são discutidos neste item.

Os resultados de índice de refração das bebidas foram obtidos utilizando-se sensores à fibra óptica de índice de refração da empresa Gavea Sensors - Sistemas de Medição LTDA., empresa encubada do Instituto Gênesis (incubadora tecnológica da PUC-Rio). As medições foram realizadas no Laboratório de Sensores à Fibra Óptica (LSFO) do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Apesar da utilização de um refratômetro, os resultados obtidos durante este experimento não podem ser considerados como o índice de refração característico, apenas proporcional a este valor. A unidade SI associada à grandeza índice de refração é o número um (1), pois não se utiliza um símbolo com o valor numérico do índice de refração. No entanto, todos os valores de índice de refração obtidos nos experimentos deste item não estão na unidade SI, mas numa unidade proporcional. Numa futura etapa, pretende-se calcular a constante de proporcionalidade entre as duas unidades.

Foram realizados experimentos com dois tipos de fibra óptica distintos: monomodo e multimodo, discutidos a seguir.

4.4.1 Refratômetro com fibra monomodo

Primeiramente, fez-se uma montagem simples utilizando um refratômetro com saída APC, cabo de fibra óptica do tipo monomodo com sensor, placa de aquisição de dados CB-68LP e sistema LabVIEW versão 6.1.

Seguiu-se o seguinte procedimento:

- Conectou-se todo sistema e deixou-se estabilizar durante 2 horas;
- Colocou-se as amostras de cerveja e refrigerantes em geladeira para estabilização a aproximadamente 6 °C;
- Para a realização das medições e obtenção dos resultados, abriu-se a lata contendo a bebida e inseriu-se o sensor o mais próximo do fundo da lata possível, porém, sem encostar, para diminuição da formação de bolhas que atrapalhariam a leitura na ponta do mesmo.

Encontram-se abaixo os resultados dos valores do índice de refração medidos, durante um intervalo de tempo, com um sensor à fibra óptica do tipo monomodo fabricado pela Gavea Sensors. Além disso, as tabelas apresentam o valor máximo, mínimo, a média e o desvio padrão dos resultados obtidos. A Tabela 9 e a Figura 24 mostram os resultados para cervejas com e sem álcool. A Tabela 10 e a Figura 25 mostram os resultados para refrigerantes do tipo comum. A Tabela 11 e a Figura 26 mostram os resultados para refrigerantes do tipo diet. A Tabela 12 e a Figura 27 mostram os resultados para chás.

A fim de facilitar a comparação dos resultados de índice de refração dos refrigerantes e das cervejas, os dados dos gráficos das Figuras 24-27 foram combinados no gráfico da Figura 28.

Tabela 9 – Dados obtidos para cervejas com e sem álcool com a utilização de um sensor à fibra óptica do tipo monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	LIBER	SKOL	BRAHMA	ANTARCTICA	BOHEMIA
	1,333	1,431	1,427	1,423	1,414
	1,333	1,431	1,427	1,420	1,418
	1,333	1,440	1,414	1,420	1,418
	1,333	1,431	1,427	1,423	1,414
	1,333	1,440	1,440	1,420	1,427
	1,346	1,431	1,427	1,420	1,418
	1,333	1,440	1,440	1,420	1,427
	1,333	1,440	1,414	1,420	1,427
	1,333	1,440	1,423	1,432	1,427
	1,346	1,431	1,436	1,420	1,427
	1,333	1,440	1,427	1,423	1,427
	1,333	1,440	1,418	1,420	1,427
	1,346	1,440	1,427	1,432	1,427
	1,380	1,431	1,427	1,411	1,427
	1,370	1,440	1,423	1,420	1,427
	1,352	1,440	1,414	1,411	1,418
	1,380	1,440	1,427	1,411	1,427
	1,398	1,431	1,414	1,411	1,414
	1,333	1,431	1,427	1,420	1,427
	1,333	1,431	1,427	1,423	1,427
	1,333	1,440	1,427	1,411	1,418
	1,333	1,431	1,427	1,420	1,427
	1,333	1,454	1,427	1,411	1,414
	1,333	1,440	1,427	1,420	1,414
	1,333	1,431	1,427	1,423	1,414
	1,346	1,431	1,414	1,420	1,414
	1,343	1,450	1,427	1,411	1,427
	1,333	1,440	1,427	1,420	1,427
	1,343	1,431	1,427	1,411	1,427
	1,346	1,444	1,427	1,411	1,427
	1,343	1,427	1,427	1,420	1,427
	1,346	1,427	1,427	1,411	1,427
	1,333	1,444	1,427	1,423	1,427
	1,333	1,431	1,427	1,420	1,427
	1,346	1,440	1,427	1,420	1,414
	1,333	1,440	1,440	1,423	1,427
	1,343	1,440	1,427	1,411	1,418
	1,333	1,440	1,427	1,411	1,418
	1,346	1,431	1,427	1,423	1,418
	1,343	1,440	1,414	1,420	1,418
min	1,333	1,427	1,414	1,411	1,414
máx	1,398	1,454	1,440	1,432	1,427
média	1,342	1,437	1,426	1,419	1,422
s	0,015	0,006	0,007	0,006	0,006

Tabela 10 – Dados obtidos para refrigerantes do tipo comum com a utilização de um sensor à fibra óptica do tipo monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	GUARANA	PEPSI TWIST	SODA	TÔNICA	PEPSI
	1,286	1,266	1,237	1,355	1,243
	1,286	1,255	1,248	1,351	1,243
	1,288	1,255	1,248	1,342	1,243
	1,277	1,266	1,248	1,355	1,234
	1,277	1,264	1,248	1,355	1,243
	1,277	1,264	1,237	1,364	1,243
	1,288	1,275	1,237	1,364	1,243
	1,286	1,264	1,248	1,355	1,243
	1,277	1,275	1,246	1,355	1,243
	1,286	1,275	1,246	1,355	1,243
	1,297	1,273	1,248	1,342	1,243
	1,295	1,273	1,248	1,355	1,234
	1,286	1,264	1,248	1,355	1,243
	1,286	1,275	1,248	1,355	1,234
	1,286	1,284	1,248	1,355	1,243
	1,297	1,275	1,248	1,355	1,243
	1,286	1,273	1,248	1,355	1,252
	1,297	1,273	1,274	1,355	1,252
	1,288	1,273	1,237	1,355	1,252
	1,297	1,284	1,246	1,364	1,243
	1,277	1,275	1,246	1,355	1,243
	1,286	1,275	1,248	1,351	1,243
	1,288	1,284	1,237	1,364	1,243
	1,286	1,275	1,248	1,351	1,234
	1,286	1,273	1,248	1,351	1,252
	1,286	1,273	1,246	1,355	1,243
	1,297	1,284	1,246	1,355	1,243
	1,286	1,284	1,257	1,364	1,241
	1,297	1,275	1,257	1,355	1,243
	1,286	1,273	1,248	1,351	1,243
	1,286	1,273	1,246	1,355	1,243
	1,286	1,284	1,246	1,342	1,243
	1,297	1,275	1,257	1,364	1,243
	1,286	1,275	1,257	1,355	1,255
	1,297	1,264	1,254	1,355	1,243
	1,286	1,275	1,257	1,355	1,243
	1,286	1,275	1,257	1,364	1,243
	1,286	1,264	1,257	1,355	1,252
	1,297	1,275	1,246	1,351	1,252
	1,288	1,264	1,248	1,364	1,252
min	1,277	1,255	1,237	1,342	1,234
máx	1,297	1,284	1,274	1,364	1,255
média	1,288	1,273	1,249	1,355	1,244
s	0,006	0,007	0,007	0,006	0,005

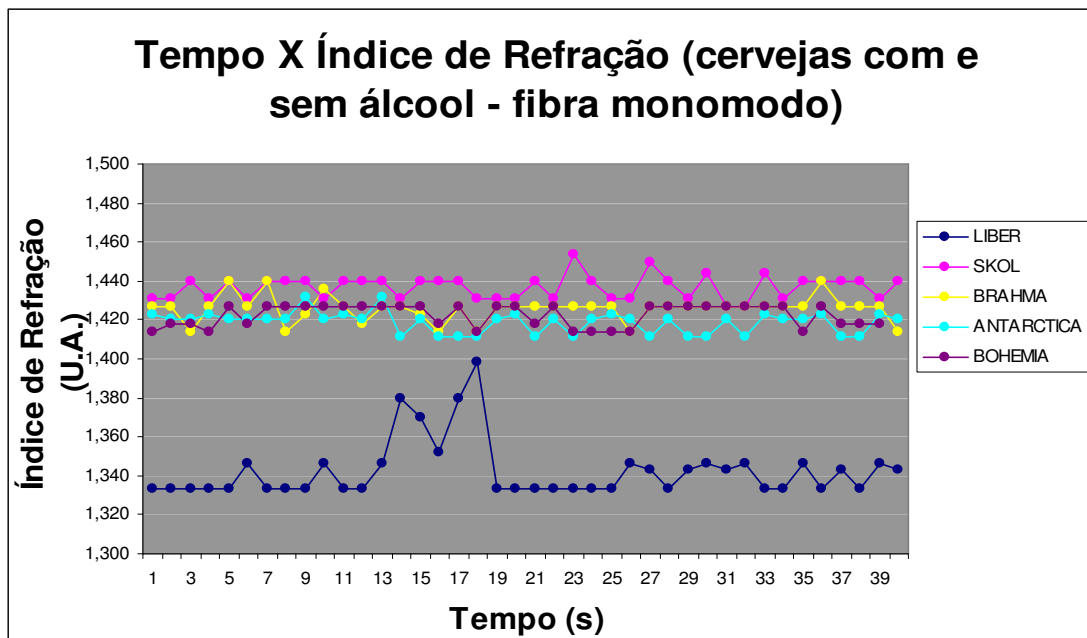


Figura 24 – Medições do Índice de Refração em cervejas com e sem álcool (Liber), obtidos com um sensor à fibra óptica monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

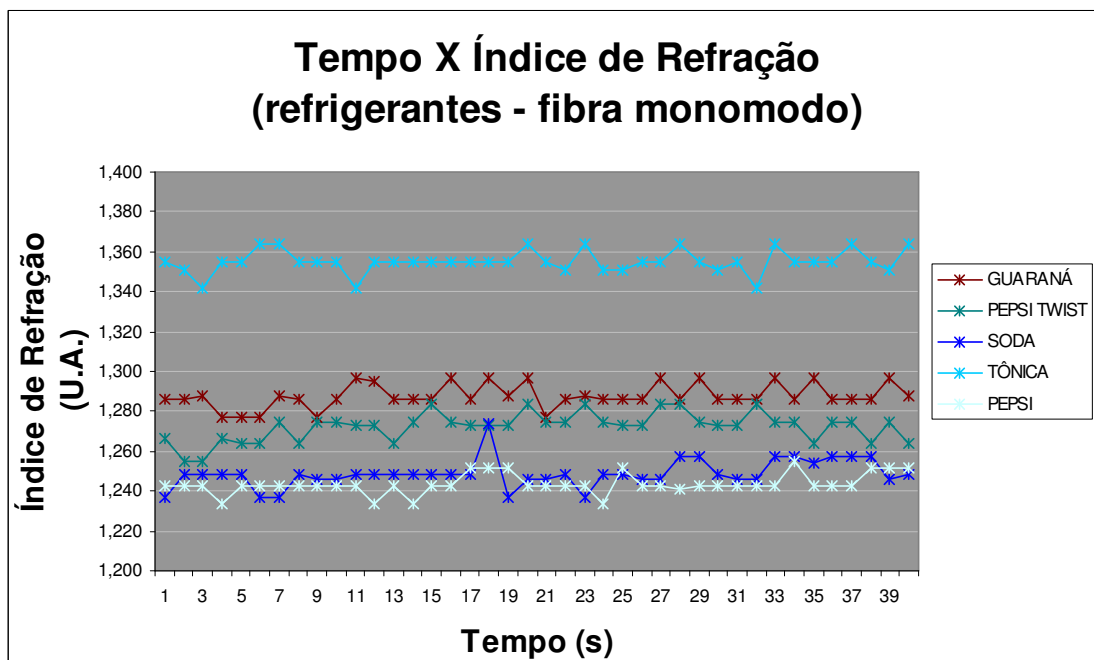


Figura 25 – Medições do Índice de Refração em refrigerantes do tipo comum, obtidos com um sensor à fibra óptica monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Tabela 11 – Dados obtidos para refrigerantes do tipo diet com a utilização de um sensor à fibra óptica do tipo monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	GUARANÁ DIET	TÔNICA DIET
	1,607	1,609
	1,602	1,624
	1,607	1,618
	1,602	1,609
	1,593	1,609
	1,593	1,624
	1,593	1,618
	1,607	1,609
	1,616	1,609
	1,607	1,624
	1,602	1,618
	1,593	1,618
	1,607	1,609
	1,602	1,609
	1,593	1,609
	1,611	1,624
	1,607	1,624
	1,616	1,618
	1,607	1,618
	1,602	1,609
	1,602	1,609
	1,607	1,609
	1,593	1,624
	1,607	1,609
	1,607	1,624
	1,602	1,609
	1,593	1,609
	1,602	1,624
	1,616	1,600
	1,602	1,624
	1,602	1,609
	1,593	1,609
	1,607	1,609
	1,602	1,624
	1,607	1,609
	1,616	1,609
	1,602	1,609
	1,602	1,609
	1,602	1,600
	1,616	1,624
mín	1,593	1,600
máx	1,616	1,624
média	1,604	1,614
s	0,007	0,007

Tabela 12 – Dados obtidos para chás com a utilização de um sensor à fibra óptica do tipo monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	CHÁ LIPTON PÊSSEGO	CHÁ LIPTON LIMÃO
	1,351	1,351
	1,351	1,330
	1,360	1,339
	1,360	1,342
	1,373	1,339
	1,364	1,330
	1,373	1,339
	1,373	1,339
	1,351	1,351
	1,364	1,342
	1,360	1,342
	1,364	1,339
	1,364	1,342
	1,364	1,339
	1,373	1,351
	1,373	1,339
	1,360	1,348
	1,360	1,351
	1,364	1,339
	1,360	1,330
	1,364	1,342
	1,373	1,339
	1,364	1,339
	1,360	1,339
	1,364	1,339
	1,360	1,339
	1,360	1,351
	1,364	1,339
	1,364	1,339
	1,373	1,339
	1,376	1,351
	1,373	1,342
	1,364	1,351
	1,373	1,321
	1,360	1,339
	1,364	1,342
	1,373	1,330
	1,364	1,351
	1,351	1,339
	1,373	1,342
mín	1,351	1,321
máx	1,376	1,351
média	1,364	1,341
s	0,007	0,007

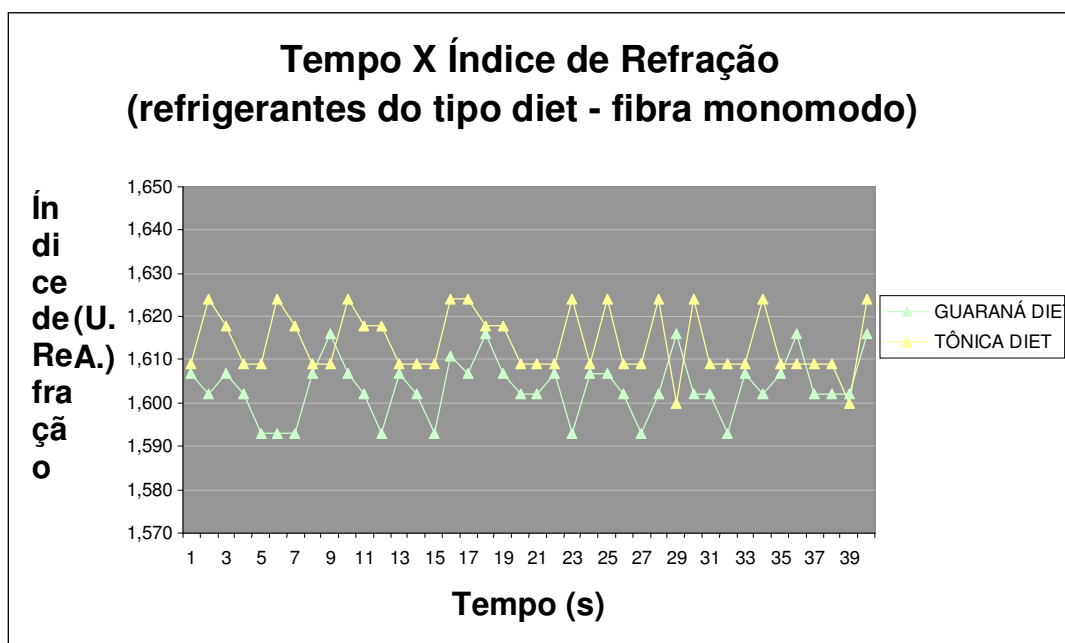


Figura 26 – Medições do Índice de Refração em refrigerantes do tipo diet, obtidos com um sensor à fibra óptica monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

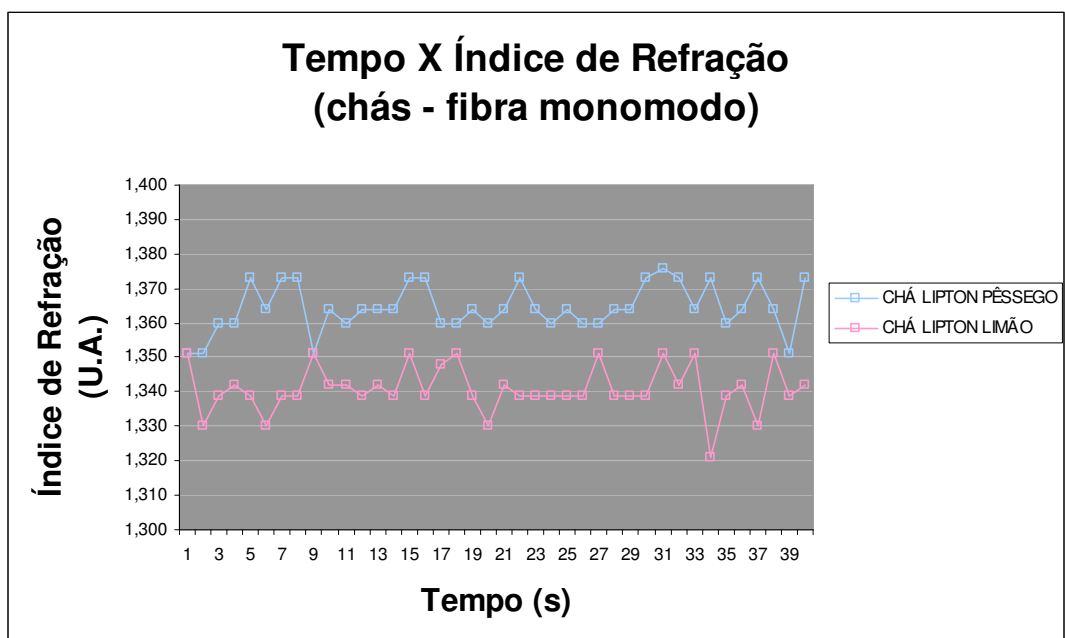


Figura 27 – Medições do Índice de Refração em chás, obtidos com um sensor à fibra óptica monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

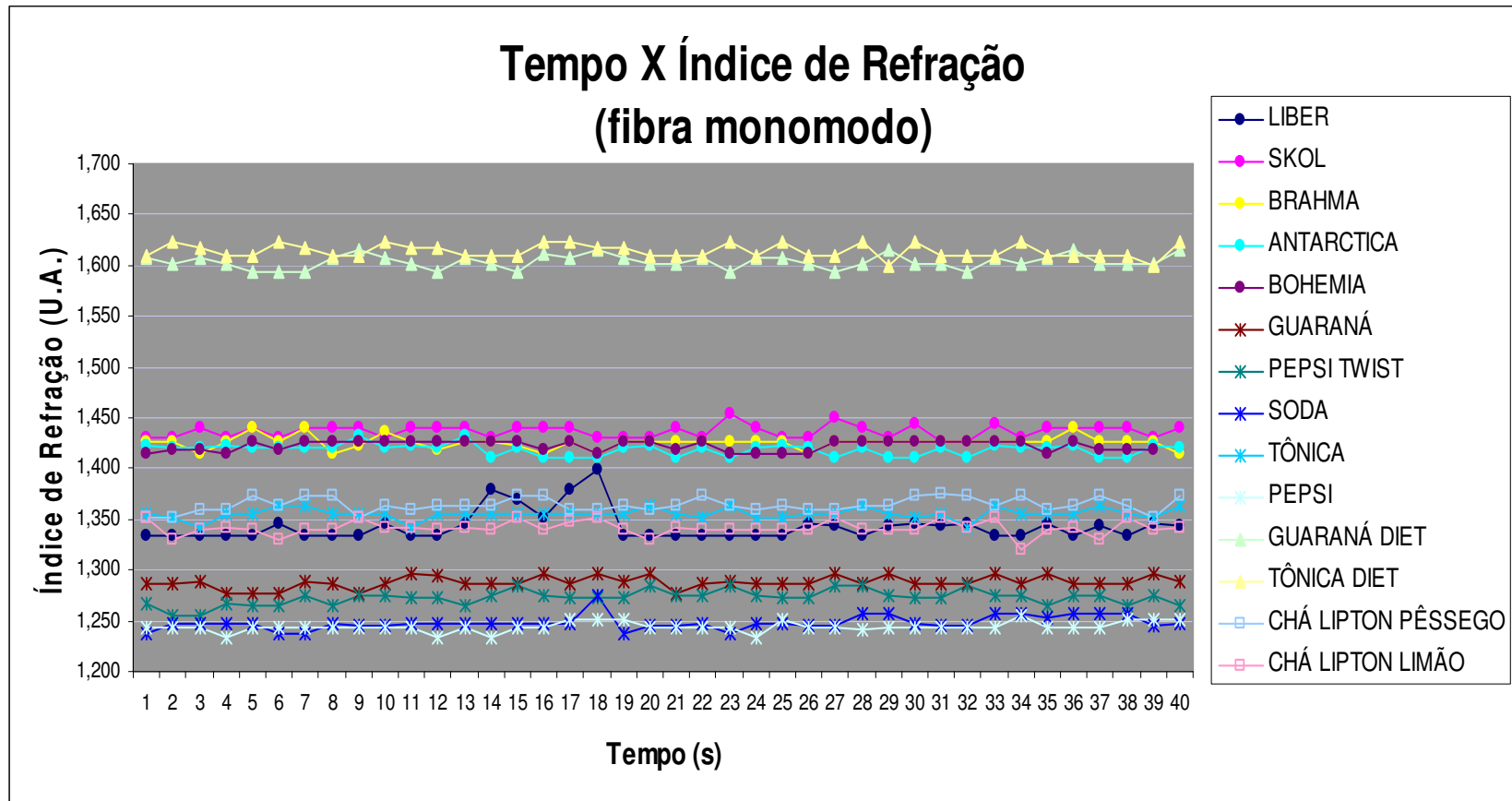


Figura 28 – Medições do Índice de Refração para todas as bebidas testadas, obtidos com um sensor à fibra óptica monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Através do gráfico da Figura 27, observa-se que existem faixas bem definidas e sem superposição para as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas. A cerveja Liber (cerveja sem álcool), tem o índice de refração na mesma faixa dos chás:

- Skol, Brahma, Antarctica (cervejas do tipo clara) e Bohemia (cerveja do tipo escura): 1,411 a 1,454;
- Guaraná, Pepsi Twist, Soda e Pepsi (refrigerantes): 1,234 a 1,297;
- Guaraná Diet e Tônica Diet (refrigerantes do tipo diet): 1,593 a 1,624;
- Tônica (refrigerante do tipo comum): 1,342 a 1,364;
- Lipton Pêssego, Lipton Limão (chás) e Liber (cerveja sem álcool): 1,234 a 1,297.

É interessante observar que os dados da Figura 27 foram tratados com um teste estatístico frequentemente utilizado no meio da Metrologia, o Teste de Dixon. Este teste foi aplicado devido ao elevado desvio padrão das observações, para verificar a necessidade de rejeição dos valores extremos. O Teste de Dixon, que indica a rejeição de valores extremos de um conjunto de dados, é descrito da seguinte forma:

Para repetições $13 \leq n$ ($n=40$)

$$Z_h(\text{suspeito}) = (Z_h - Z_{h-2}) / (Z_h - Z_3)$$

$$Z_1(\text{suspeito}) = (Z_3 - Z_1) / (Z_{h-2} - Z_1)$$

Onde

Z_h é o último valor, após a ordenação dos valores obtidos.

Z_1 é o primeiro valor após a ordenação dos valores obtidos.

Valor Crítico para $h = 40$: 0,371 para 5% de significância

O critério de aceitação ou rejeição do Teste de Dixon é:

- se Z_h ou $Z_1 >$ valor tabelado, conclui-se pela REJEIÇÃO
- se Z_h ou $Z_1 \leq$ valor tabelado, conclui-se pela NÃO REJEIÇÃO

A Tabela 13 mostra um exemplo de aplicação do Teste de Dixon nos dados obtidos para algumas cervejas. No caso da Antarctica, tanto Z_1 , quanto Z_h , foram menores que os valores tabelados. Já no caso da Bohemia, o Z_1 foi maior que o valor tabelado e rejeitado. Na segunda verificação, Z_1 foi menor que o valor tabelado, portanto não ocorreu mais rejeição

Tabela 13 – Exemplo da aplicação do Teste de Dixon nos dados obtidos com a utilização do sensor à fibra monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Zh	ANTARCTICA	ANTARCTICA ord.	Dixon	BOHEMIA	BOHEMIA ord.	Dixon
Z1	1,423	1,411	0,000	1,414	1,355	0,819
Z2	1,420	1,411		1,418	1,414	0,000
Z3	1,420	1,411		1,418	1,414	
Z4	1,423	1,411		1,414	1,414	
Z5	1,420	1,411		1,427	1,414	
Z6	1,420	1,411		1,355	1,414	
Z7	1,420	1,411		1,418	1,414	
Z8	1,420	1,411		1,427	1,414	
Z9	1,432	1,411		1,427	1,414	
Z10	1,420	1,411		1,427	1,418	
Z11	1,423	1,411		1,427	1,418	
Z12	1,420	1,411		1,427	1,418	
Z13	1,432	1,420		1,427	1,418	
Z14	1,411	1,420		1,427	1,418	
Z15	1,420	1,420		1,427	1,418	
Z16	1,411	1,420		1,427	1,418	
Z17	1,411	1,420		1,418	1,418	
Z18	1,411	1,420		1,427	1,427	
Z19	1,420	1,420		1,414	1,427	
Z20	1,423	1,420		1,427	1,427	
Z21	1,411	1,420		1,427	1,427	
Z22	1,420	1,420		1,418	1,427	
Z23	1,411	1,420		1,427	1,427	
Z24	1,420	1,420		1,414	1,427	
Z25	1,423	1,420		1,414	1,427	
Z26	1,420	1,420		1,414	1,427	
Z27	1,411	1,420		1,414	1,427	
Z28	1,420	1,420		1,427	1,427	
Z29	1,411	1,420		1,427	1,427	
Z30	1,411	1,420		1,427	1,427	
Z31	1,420	1,423		1,427	1,427	
Z32	1,411	1,423		1,427	1,427	
Z33	1,423	1,423		1,427	1,427	
Z34	1,420	1,423		1,427	1,427	
Z35	1,420	1,423		1,427	1,427	
Z36	1,423	1,423		1,414	1,427	
Z37	1,411	1,423		1,427	1,427	
Z38	1,411	1,423		1,418	1,427	
Z39	1,423	1,432		1,418	1,427	
Z40	1,420	1,432	0,429	1,418	1,427	0,000

Realizou-se, também, um estudo da variação do índice de refração em função do aumento da temperatura (Tabela 14 e Figura 29), que mostrou não haver uma dependência do índice de refração com a temperatura.

Tabela 14 – Observação do efeito da temperatura nos dados obtidos com a utilização do sensor à fibra monomodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Hora	Temperatura (°C)	Razão (CH1/CH2)
23:12	6,4	0,547
23:14	7,2	0,552
23:16	7,9	0,547
23:18	8,3	0,552
23:20	8,3	0,547
23:22	8,6	0,547
23:24	9,1	0,547
23:26	9,6	0,552
23:28	10,1	0,552
23:30	10,3	0,547
23:32	10,6	0,547
23:34	10,8	0,552
23:36	10,9	0,552
23:38	11,4	0,552
23:40	11,5	0,552
mínimo		0,547
máximo		0,552
média		0,550
S		0,003

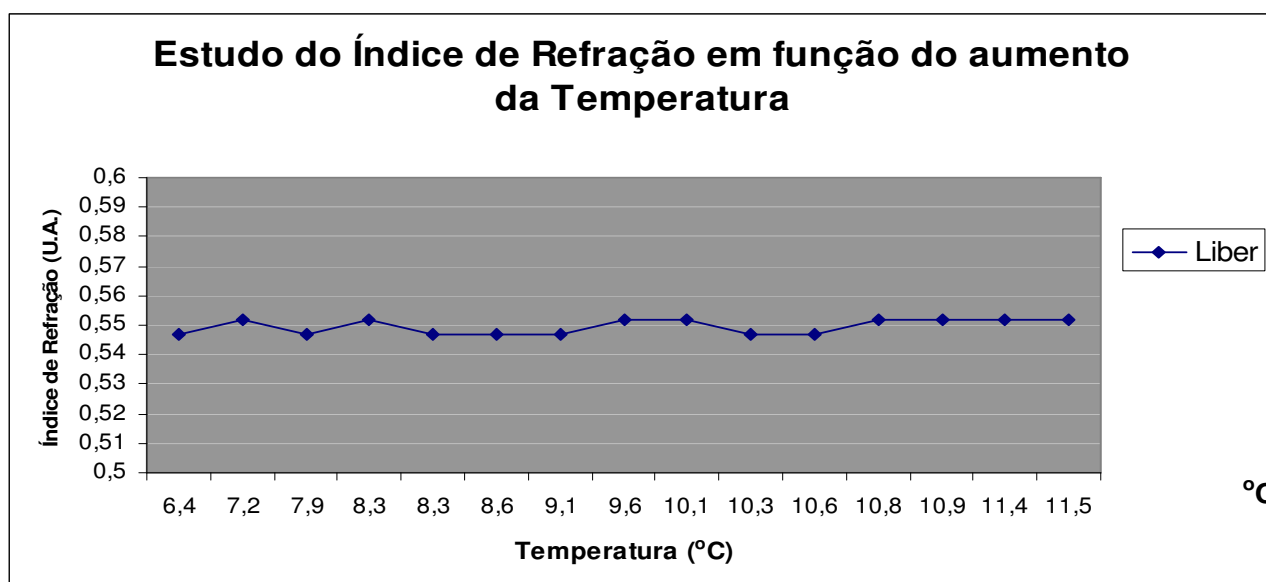


Figura 29 – Estudo do índice de refração em função do aumento da temperatura da bebida realizado na cerveja sem álcool Liber.

4.4.2 Refratômetro com fibra multimodo

A seguir, mostra-se os resultados dos valores do índice de refração medidos, durante um intervalo de tempo, com um sensor à fibra óptica do tipo multimodo fabricado pela Gavea Sensors. Para a realização destas análises, utilizou-se uma montagem um pouco mais elaborada que a da fibra monomodo, conforme ilustrado na Figura 30.

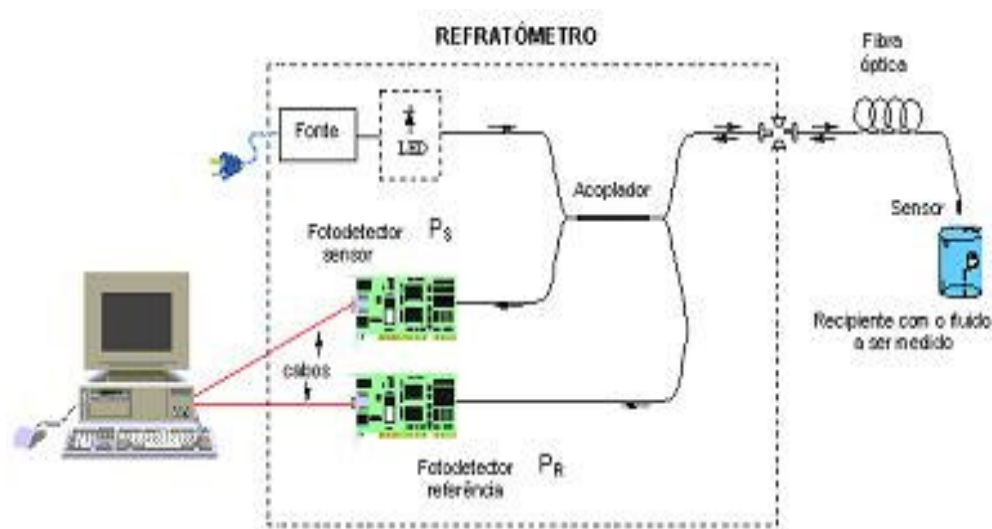


Figura 30 – Montagem realizada para a execução das análises com a utilização da fibra óptica do tipo multimodo, fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Seguiu-se o seguinte procedimento:

- Em um recipiente com características de bom isolante térmico (caixa de isopor, por exemplo) preparou-se um banho termostático com uma temperatura aproximada a 0°C (com gelo moído e água gelada);
- Para monitorar a temperatura do banho, que deveria estar de 0°C a 8,0°C, utilizou-se um termistor do tipo PT-100;

- Tanto o PT-100 quanto o refratômetro estavam acoplados ao programa DOF;
- Cada produto foi colocado no banho para a estabilização da temperatura interna. Abriu-se a bebida, colocando-se imediatamente o sensor à fibra óptica do tipo multimodo, e o sensor do PT100 dentro da lata, atentando para que o sensor da fibra óptica ficasse próximo ao fundo do recipiente, porém, sem tocá-lo. Esse procedimento evita a formação de bolhas na ponta do sensor, o que atrapalharia a leitura, pois observou-se que quanto mais próximo à superfície, maior a probabilidade de formação de bolhas. Além disso, utilizou-se algumas gotas de álcool isopropílico com o objetivo de rebater a espuma formada;
- Após iniciar o DOF através do comando *RUN*, o sistema executou medições de uma série de pontos determinados, leituras que obedecem ao tempo padrão determinado de cinco (5) minutos para a aquisição dos dados;
- Ao término da aquisição desejada, interrompeu-se o sistema através do comando “SAIR”, e os dados referentes ao CANAL 1, CANAL 2, temperatura e razão foram arquivados.

Entre uma determinação e outra, teve-se o cuidado com a limpeza da ponta da fibra óptica com água e secagem com papel absorvente, principalmente, quando ocorria a troca de tipo de produto (de refrigerante para cerveja, por exemplo), a fim de evitar erros de leitura devido à deposição de sólidos solúveis.

Com a configuração de 10 000 amostras por segundo e médias com 30 000 amostras, isto é, a cada três (3) segundos, encontrou-se um ruído de 0,004 na razão do sinal pela referência.

A seguir, mostra-se os resultados dos valores do índice de refração medidos, durante um intervalo de tempo, com um sensor à fibra óptica do tipo multimodo fabricado pela Gavea Sensors. A Tabela 15 e a Figura 31 mostram os resultados para cervejas com e sem álcool. A Tabela 16 e a Figura 32 mostram os resultados para refrigerantes do tipo comum. A Tabela 17 e a Figura 33 mostram os resultados para refrigerantes do tipo diet. A Tabela 18 e a Figura 34 mostram os resultados para chás.

A fim de facilitar a comparação dos resultados de índice de refração dos refrigerantes e das cervejas, os dados dos gráficos das Figuras 31-34 foram combinados no gráfico da Figura 35.

Tabela 15 – Dados obtidos para cervejas com e sem álcool com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	LIBER	KRONENBIER	BRAHMA
	1,652	1,741	1,654
	1,655	1,740	1,656
	1,653	1,739	1,656
	1,655	1,740	1,654
	1,653	1,741	1,654
	1,654	1,740	1,655
	1,654	1,740	1,653
	1,655	1,742	1,651
	1,656	1,741	1,653
	1,656	1,741	1,652
	1,654	1,741	1,651
	1,656	1,739	1,650
	1,655	1,740	1,653
	1,656	1,740	1,655
	1,656	1,741	1,653
	1,656	1,740	1,650
	1,654	1,740	1,652
	1,657	1,739	1,651
	1,655	1,740	1,651
	1,656	1,741	1,651
	1,654	1,738	1,653
	1,656	1,739	1,652
	1,656	1,739	1,651
	1,655	1,739	1,651
	1,657	1,739	1,652
	1,655	1,740	1,648
	1,654	1,738	1,651
	1,656	1,739	1,651
	1,655	1,741	1,651
	1,653	1,739	1,649
	1,656	1,740	1,650
	1,653	1,740	1,651
	1,653	1,739	1,651
	1,653	1,739	1,650
	1,654	1,739	1,651
	1,655	1,739	1,649
	1,654	1,740	1,649
	1,654	1,739	1,649
	1,656	1,739	1,649
	1,656	1,739	1,652
	1,654	1,739	1,650
mín	1,652	1,738	1,648
máx	1,657	1,742	1,656
média	1,655	1,740	1,652
s	0,001	0,001	0,002

Tabela 16 – Dados obtidos para refrigerantes do tipo diet ou light com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	GUARANA DIET	PEPSI LIGHT	PEPSI TWIST LIGHT
	1,887	1,817	1,718
	1,884	1,816	1,720
	1,887	1,817	1,717
	1,886	1,816	1,716
	1,887	1,816	1,714
	1,884	1,816	1,717
	1,885	1,814	1,715
	1,887	1,815	1,716
	1,885	1,813	1,715
	1,886	1,813	1,715
	1,885	1,813	1,715
	1,887	1,817	1,715
	1,886	1,813	1,716
	1,888	1,815	1,716
	1,888	1,811	1,715
	1,885	1,813	1,715
	1,887	1,813	1,715
	1,887	1,811	1,716
	1,887	1,813	1,718
	1,886	1,813	1,716
	1,886	1,814	1,716
	1,886	1,811	1,716
	1,885	1,815	1,716
	1,886	1,813	1,716
	1,886	1,812	1,716
	1,886	1,811	1,716
	1,886	1,812	1,715
	1,887	1,813	1,716
	1,886	1,813	1,713
	1,888	1,812	1,717
	1,885	1,812	1,716
	1,886	1,813	1,714
	1,885	1,813	1,714
	1,887	1,812	1,714
	1,885	1,810	1,715
	1,888	1,811	1,716
	1,888	1,811	1,715
	1,889	1,812	1,715
	1,888	1,810	1,716
	1,885	1,811	1,715
	1,887	1,812	1,713
mín	1,884	1,810	1,713
máx	1,889	1,817	1,720
média	1,886	1,813	1,716
s	0,001	0,002	0,001

Tabela 17 – Dados obtidos para refrigerantes do tipo comum com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	PEPSI TWIST	PEPSI	SODA	GUARANA
	1,469	1,526	1,485	1,474
	1,469	1,528	1,488	1,459
	1,469	1,524	1,486	1,459
	1,467	1,527	1,486	1,459
	1,469	1,525	1,486	1,459
	1,468	1,528	1,485	1,459
	1,468	1,526	1,485	1,460
	1,470	1,525	1,484	1,460
	1,468	1,525	1,486	1,459
	1,468	1,524	1,486	1,460
	1,469	1,526	1,485	1,457
	1,470	1,523	1,484	1,458
	1,468	1,523	1,484	1,458
	1,467	1,525	1,487	1,460
	1,468	1,524	1,485	1,458
	1,466	1,525	1,484	1,460
	1,468	1,525	1,484	1,461
	1,470	1,524	1,485	1,459
	1,469	1,525	1,484	1,458
	1,468	1,526	1,486	1,458
	1,469	1,525	1,485	1,460
	1,468	1,525	1,483	1,461
	1,469	1,524	1,485	1,459
	1,467	1,525	1,484	1,457
	1,466	1,525	1,486	1,458
	1,468	1,526	1,486	1,461
	1,469	1,523	1,486	1,458
	1,468	1,523	1,485	1,456
	1,468	1,522	1,486	1,459
	1,468	1,523	1,484	1,459
	1,470	1,523	1,484	1,460
	1,469	1,525	1,485	1,460
	1,467	1,523	1,486	1,459
	1,468	1,524	1,485	1,460
	1,467	1,523	1,484	1,459
	1,468	1,525	1,485	1,460
	1,468	1,523	1,485	1,458
	1,469	1,525	1,485	1,457
	1,469	1,523	1,485	1,458
	1,469	1,524	1,485	1,457
	1,468	1,525	1,485	1,457
mín	1,466	1,522	1,483	1,456
máx	1,470	1,528	1,488	1,474
média	1,468	1,525	1,485	1,459
s	0,001	0,001	0,001	0,003

Tabela 18 – Dados obtidos para chás com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

	LIPTON PESSEGO	LIPTON LIMAO
	1,532	1,583
	1,531	1,584
	1,533	1,584
	1,531	1,583
	1,533	1,582
	1,533	1,583
	1,532	1,584
	1,535	1,585
	1,531	1,584
	1,534	1,584
	1,535	1,583
	1,533	1,585
	1,532	1,585
	1,532	1,585
	1,533	1,583
	1,533	1,582
	1,531	1,584
	1,531	1,582
	1,532	1,585
	1,532	1,582
	1,534	1,585
	1,532	1,583
	1,535	1,585
	1,535	1,583
	1,531	1,584
	1,534	1,583
	1,532	1,585
	1,533	1,584
	1,533	1,584
	1,532	1,586
	1,531	1,583
	1,533	1,584
	1,533	1,585
	1,532	1,585
	1,531	1,586
	1,532	1,586
	1,531	1,584
	1,532	1,583
	1,533	1,584
	1,535	1,584
	1,531	1,584
mín	1,531	1,582
máx	1,535	1,586
média	1,533	1,584
s	0,001	0,001

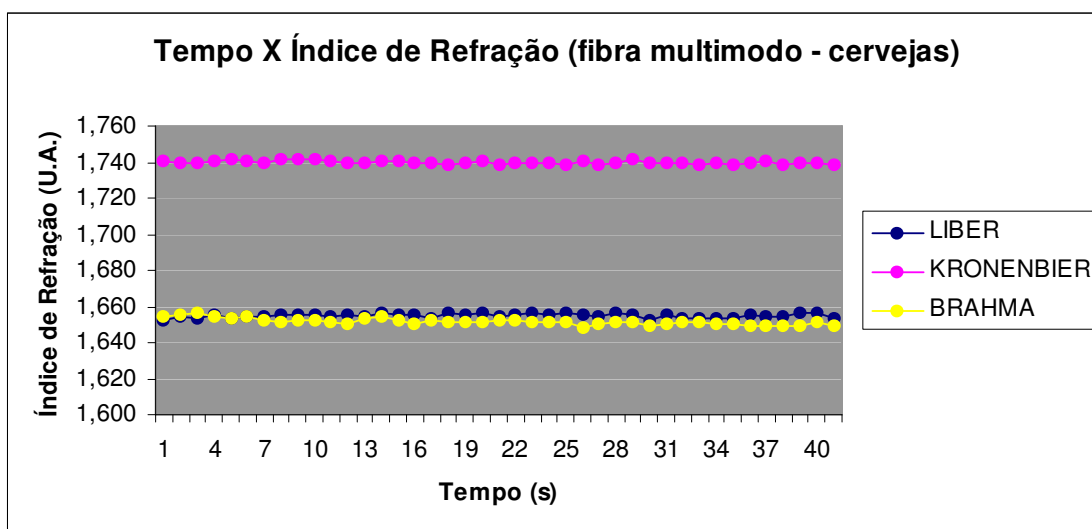


Figura 31 – Medições do Índice de Refração para cervejas com e sem álcool, obtidos no laboratório da PUC-Rio, com a utilização da fibra óptica do tipo multimodo.

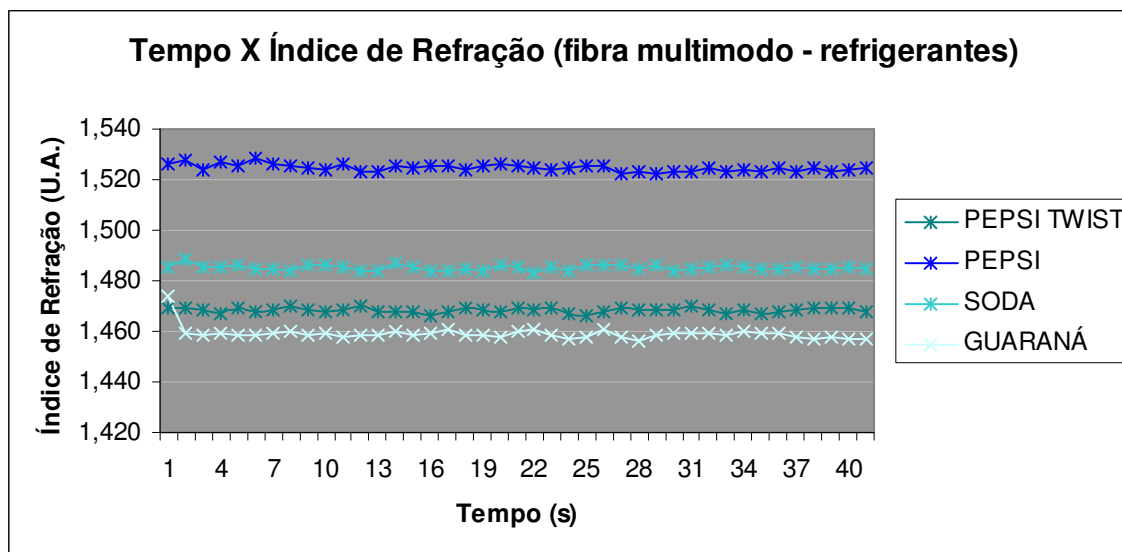


Figura 32 – Medições do Índice de Refração para refrigerantes do tipo comum, obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

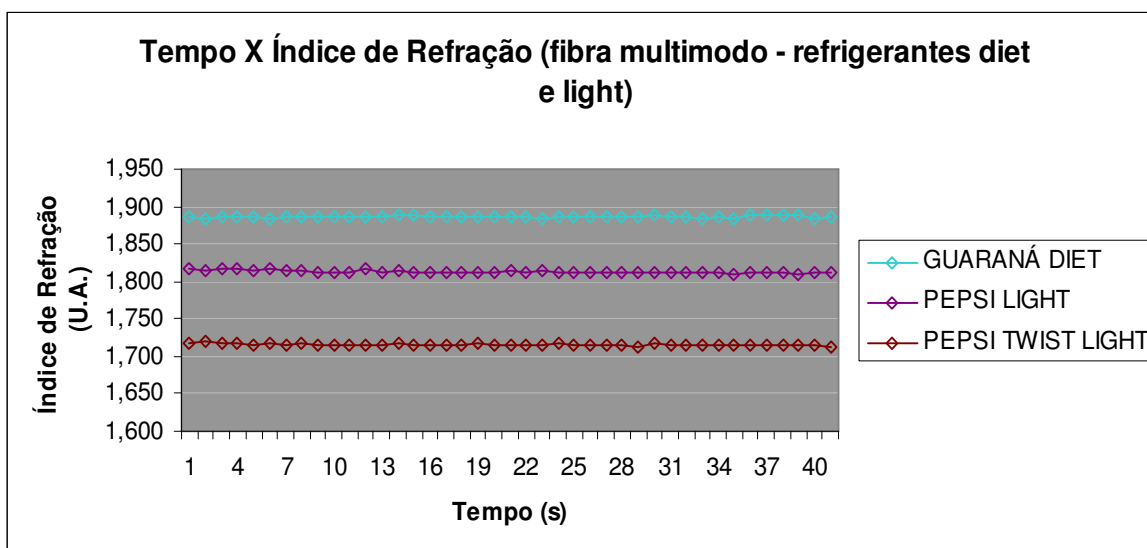


Figura 33 – Medições do Índice de Refração para refrigerantes do tipo light, obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

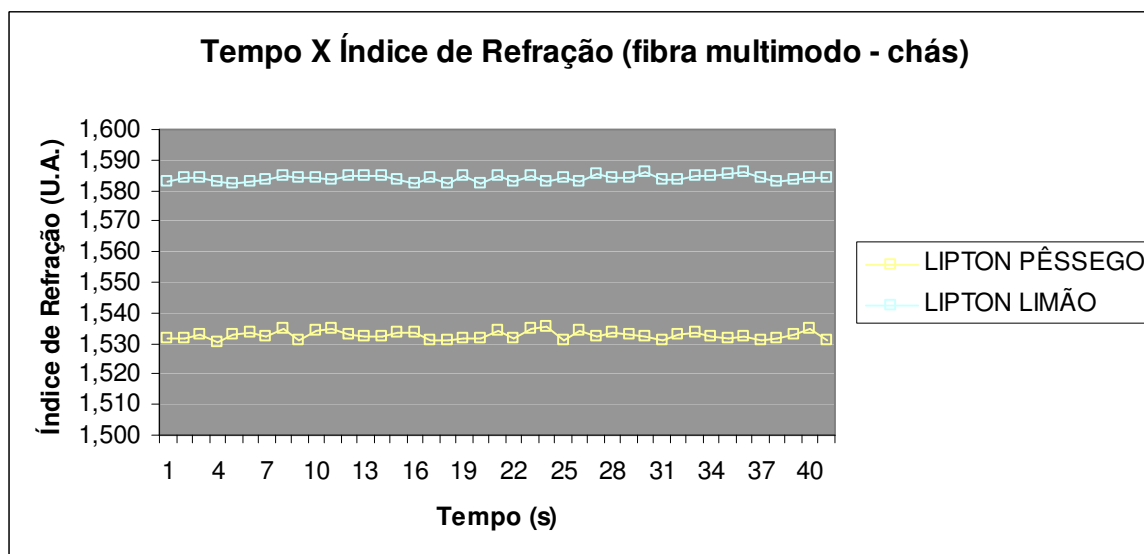


Figura 34 – Medições do Índice de Refração para chás, obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

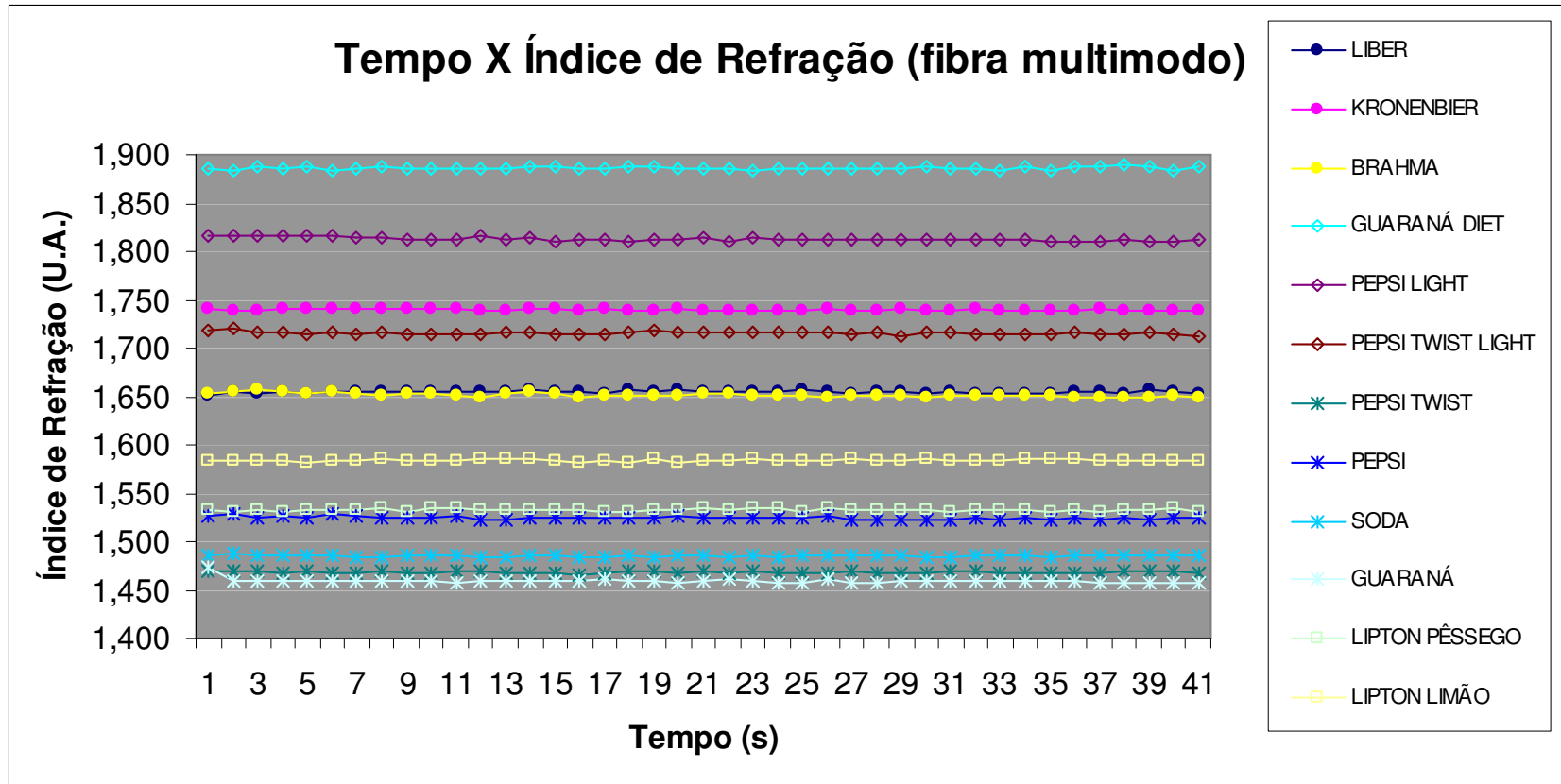


Figura 35 – Medições do Índice de Refração para todas as bebidas testadas, obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Observando-se o gráfico da figura 34, conclui-se que, com a utilização da fibra do tipo multimodo, as faixas de índice de refração para bebidas alcoólicas e não-alcoólicas não estão bem definidas e que há superposição entre a cerveja com álcool Brahma e a cerveja sem álcool Liber. A cerveja sem álcool Kronenbier tem o índice de refração na mesma faixa de alguns refrigerantes do tipo light e o refrigerante Pepsi na mesma faixa dos chás:

- Brahma (cerveja do tipo pilsen) e Liber (cerveja sem álcool): 1,648 a 1,657
- Guaraná Diet, Pepsi Light, Pepsi Twist Light (refrigerantes do tipo diet e light) e Kronenbier (cerveja sem álcool): 1,713 a 1,889
- Lipton Limão, Lipton Pêssego (chás) e Pepsi (refrigerante do tipo cola): 1,522 a 1,586
- Soda, Guaraná (refrigerantes) e Pepsi Twist (refrigerante com suco de limão): 1,456 a 1,522

Fez-se então um comparativo entre os dois tipos de fibra (Monomodo X Multimodo), visualizado da Tabela 19.

Tabela 19 – Comparativo entre os dados de índice de refração obtidos com a utilização dos sensores a fibra óptica monomodo e a fibra óptica multimodo, fabricados pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

BEBIDA	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	VALOR MINIMO	VALOR MAXIMO	MÉDIA		DESVIO PADRÃO	
	FIBRA MONOMODO		FIBRA MULTIMODO		FIBRA MONOMODO	FIBRA MULTIMODO	FIBRA MONOMODO	FIBRA MULTIMODO
LIBER	1,333	1,398	1,652	1,657	1,342	1,655	0,015	0,001
KRONENBIER	-	-	1,738	1,742	-	1,740	-	0,001
BRAHMA	1,414	1,440	1,648	1,656	1,426	1,652	0,007	0,002
SKOL	1,427	1,454	-	-	1,437	-	0,006	-
ANTARCTICA	1,411	1,432	-	-	1,419	-	0,006	-
BOHEMIA	1,414	1,427	-	-	1,422	-	0,006	-
GUARANA	1,277	1,297	1,456	1,474	1,288	1,459	0,006	0,003
PEPSI TWIST	1,255	1,284	1,466	1,470	1,273	1,468	0,007	0,001
SODA	1,237	1,274	1,483	1,488	1,249	1,485	0,007	0,001
PEPSI	1,234	1,255	1,522	1,528	1,244	1,525	0,005	0,001
TÔNICA	1,342	1,364	-	-	1,355	-	0,006	-
GUARANA DIET	1,593	1,616	-	-	1,604	-	0,007	-
TÔNICA DIET	1,600	1,624	-	-	1,614	-	0,007	-
GUARANA LIGHT	-	-	1,884	1,889	-	1,886	-	0,001
PEPSI LIGHT	-	-	1,810	1,817	-	1,813	-	0,002
PEPSI TWIST LIGHT	-	-	1,713	1,720	-	1,716	-	0,001
LIPTON PÊSSEGO	1,351	1,376	1,531	1,535	1,364	1,533	0,007	0,001
LIPTON LÍMAO	1,321	1,351	1,582	1,586	1,341	1,584	0,007	0,001

Apesar do desvio padrão com a utilização da fibra óptica do tipo multimodo ser muito menor que com a utilização da fibra do tipo monomodo, as faixas foram mais bem definidas com a utilização da fibra do tipo monomodo.

Essa grande diferença encontrada entre os resultados obtidos com a utilização das fibras ópticas dos tipos monomodo e multimodo pode ser atribuída aos seguintes fatores:

- À incerteza associada ao processo de limpeza da ponta do sensor, daí a importância da limpeza constante, conforme citado durante o procedimento descrito anteriormente;

- À incerteza associada à possível diferença de características de produtos de uma mesma marca, já que estão definidos dentro de uma faixa de especificação, por exemplo, mesmo sendo cervejas do mesmo tipo sem álcool, a Liber possui um processo de fabricação diferenciado da Kronenbier;

- À diferença de comprimentos de onda dos LED's de cada refratômetro, 1300 nm para o do monomodo e 850 nm para o do multimodo. Isso pode ter causado diferenças nas absorções para cada líquido e, conseqüentemente, em diferenças nas reflexões na ponta do sensor.

Pode-se visualizar nas figuras a seguir a montagem experimental: a Figura 36 mostra o banho para o acondicionamento das amostras, a Figura 37 mostra o refratômetro, a Figura 38 mostra o controlador de temperatura, a Figura 39 mostra a placa de aquisição, a Figura 40 mostra amostras de diversos tipos de bebidas utilizadas nos testes, a Figura 41 mostra o sistema LabVIEW com o programa DOF, e a Figura 42 mostra o álcool isopropílico para diminuir a formação de espuma.



Figura 36 – Banho para acondicionamento das amostras composto de gelo moído e água gelada com temperatura entre 0 e 8°C. Observa-se também a fibra do tipo multimodo e o PT100 utilizados para a realização das medidas devidamente inseridos na bebida (amostra).



Figura 37 – Refratômetro utilizado para as medições, no qual a fibra óptica do tipo multimodo estava conectada (cabo amarelo).



Figura 38 – Controlador de temperatura no qual o PT100 estava conectado, utilizado para as medições com a fibra do tipo multimodo.



Figura 39 – Placa de aquisição utilizada para as medições com a fibra do tipo multimodo.



Figura 40 – Amostras utilizadas para as medições com a fibra do tipo multimodo.



Figura 41 – Sistema LabVIEW versão 6.1 com programa DOF, utilizados para as medições com a fibra do tipo multimodo.



Figura 42 – Álcool isopropílico utilizado para diminuir a formação de espuma na ponta do sensor, o que atrapalharia o desempenho das medições do sensor da fibra óptica do tipo multimodo.

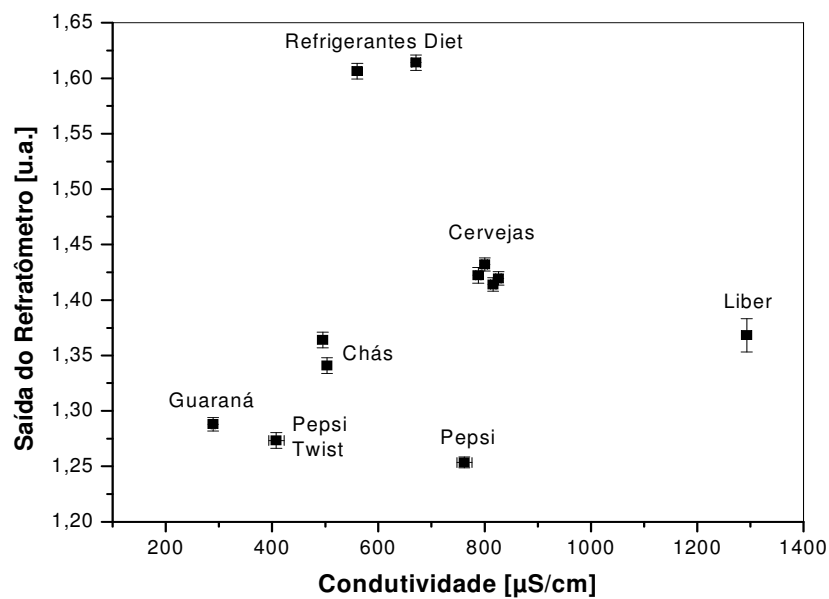


Figura 43 – Combinação dos dados dos sistemas “Medição de Condutividade” e “Refratômetro Óptico” para diferentes bebidas.

A figura 43 mostra que a combinação entre as duas técnicas (Condutometria e Refratometria Óptica) proporciona uma melhor separação entre os diferentes tipos de bebidas.

4.5

Cálculo da Incerteza

Conforme descrito no Capítulo 3, para calcularmos a Incerteza do Tipo A, é necessário que tenham sido realizadas várias observações independentes, sob as mesmas condições de medição. Portanto, aplicou-se esse tipo de cálculo nos resultados obtidos de Condutividade em linha e de Índice de Refração, tanto utilizando a fibra do tipo monomodo, quanto utilizando a fibra do tipo multimodo.

Visualiza-se a incerteza padrão $u\left(\frac{-}{q}\right)$ calculada para cada n medições (n = 40) de condutividade em linha (Skol, Tônica Diet e Guaraná), índice de refração com fibra monomodo e índice de refração com a fibra multimodo (Skol e Pepsi) nas Tabelas 20, 21 e 22 respectivamente.

Tabela 20 - Cálculo da Incerteza do Tipo A dos resultados de condutividade obtidos na linha de envase.

n	CONDUTIVIDADE EM LINHA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)					
	SKOL		TÔNICA DIET		GUARANÁ	
	Valor	$(q_j - \bar{q})^2$	Valor	$(q_j - \bar{q})^2$	Valor	$(q_j - \bar{q})^2$
1	851	45	717	0	291	2
2	851	45	715	5	288	3
3	848	94	716	1	287	7
4	849	75	714	10	285	21
5	850	59	713	17	285	21
6	848	94	720	8	285	21
7	850	59	701	262	288	3
8	852	32	702	230	288	3
9	853	22	709	67	287	7
10	854	14	708	84	287	7
11	854	14	711	38	288	3
12	851	45	711	38	288	3
13	852	32	715	5	282	58
14	865	54	716	1	288	3
15	859	2	713	17	288	3
16	859	2	714	10	288	3
17	859	2	705	148	288	3
18	861	11	714	10	290	0
19	861	11	717	0	285	21
20	860	5	716	1	286	13
21	859	2	717	0	286	13
22	860	5	716	1	288	3
23	860	5	717	0	289	0
24	859	2	712	27	289	0
25	860	5	716	1	289	0
26	865	54	720	8	290	0
27	862	19	719	3	292	6
28	862	19	729	140	287	7
29	861	11	735	318	292	6
30	863	28	743	667	292	6
31	860	5	718	1	294	19
32	860	5	725	61	293	11
33	861	11	721	15	294	19
34	859	2	729	140	295	29
35	860	5	721	15	294	19
36	860	5	720	8	290	0
37	861	11	725	61	295	29
38	863	28	726	78	297	54
39	860	5	715	5	298	70
40	865	54	716	1	299	88
mín	848		701		282	
máx	865		743		299	
range	17		42		17	
$\bar{q}$	857,675		717,175		289,625	
$s^2(q)$	25,558	996,775	64,199	2503,775	14,958	583,375
$u(\bar{q}) = s(\bar{q})$	0,799		1,267		0,612	

Tabela 21 - Cálculo da Incerteza do Tipo A dos resultados de índice de refração com fibra monomodo.

ÍNDICE DE REFRAÇÃO COM FIBRA MONOMODO												
n	SKOL						PEPSI					
	CH1 (V)	(qj - q)2	CH2 (V)	(qj - q)2	CH1/CH2	(qj - q)2	CH1 (V)	(qj - q)2	CH2 (V)	(qj - q)2	CH1/CH2	(qj - q)2
1	3,657	0,002	6,809	0,010	0,537	0,000	3,643	0,003	6,721	0,010	0,542	0,000
2	3,745	0,002	6,973	0,004	0,537	0,000	3,735	0,001	6,892	0,005	0,542	0,000
3	3,691	0,000	6,873	0,001	0,537	0,000	3,721	0,001	6,927	0,011	0,537	0,000
4	3,677	0,001	6,845	0,004	0,537	0,000	3,706	0,000	6,838	0,000	0,542	0,000
5	3,726	0,001	7,000	0,009	0,532	0,000	3,755	0,003	6,928	0,011	0,542	0,000
6	3,696	0,000	6,882	0,001	0,537	0,000	3,745	0,002	6,910	0,007	0,542	0,000
7	3,662	0,002	6,881	0,001	0,532	0,000	3,755	0,003	6,928	0,011	0,542	0,000
8	3,657	0,002	6,809	0,010	0,537	0,000	3,730	0,001	6,883	0,004	0,542	0,000
9	3,667	0,001	6,827	0,006	0,537	0,000	3,667	0,001	6,766	0,003	0,542	0,000
10	3,677	0,001	6,845	0,004	0,537	0,000	3,730	0,001	6,883	0,004	0,542	0,000
11	3,657	0,002	6,809	0,010	0,537	0,000	3,643	0,003	6,721	0,010	0,542	0,000
12	3,726	0,001	6,936	0,001	0,537	0,000	3,726	0,001	6,812	0,000	0,547	0,000
13	3,662	0,002	6,818	0,008	0,537	0,000	3,647	0,003	6,730	0,009	0,542	0,000
14	3,647	0,003	6,791	0,014	0,537	0,000	3,726	0,001	6,874	0,003	0,542	0,000
15	3,672	0,001	6,836	0,005	0,537	0,000	3,647	0,003	6,730	0,009	0,542	0,000
16	3,750	0,002	6,982	0,006	0,537	0,000	3,657	0,002	6,748	0,006	0,542	0,000
17	3,750	0,002	7,046	0,019	0,532	0,000	3,745	0,002	6,910	0,007	0,542	0,000
18	3,672	0,001	6,899	0,000	0,532	0,000	3,726	0,001	6,874	0,003	0,542	0,000
19	3,745	0,002	7,037	0,017	0,532	0,000	3,687	0,000	6,802	0,000	0,542	0,000
20	3,667	0,001	6,890	0,000	0,532	0,000	3,672	0,001	6,775	0,002	0,542	0,000
21	3,745	0,002	6,973	0,004	0,537	0,000	3,750	0,003	6,919	0,009	0,542	0,000
22	3,745	0,002	6,973	0,004	0,537	0,000	3,691	0,000	6,811	0,000	0,542	0,000
23	3,677	0,001	6,845	0,004	0,537	0,000	3,643	0,003	6,721	0,010	0,542	0,000
24	3,735	0,001	6,955	0,002	0,537	0,000	3,643	0,003	6,721	0,010	0,542	0,000
25	3,662	0,002	6,818	0,008	0,537	0,000	3,643	0,003	6,721	0,010	0,542	0,000
26	3,735	0,001	7,018	0,012	0,532	0,000	3,677	0,000	6,784	0,002	0,542	0,000
27	3,721	0,000	6,927	0,000	0,537	0,000	3,755	0,003	6,928	0,011	0,542	0,000
28	3,701	0,000	6,891	0,000	0,537	0,000	3,696	0,000	6,820	0,000	0,542	0,000
29	3,760	0,003	7,000	0,009	0,537	0,000	3,716	0,000	6,918	0,009	0,537	0,000
30	3,735	0,001	6,955	0,002	0,537	0,000	3,730	0,001	6,883	0,004	0,542	0,000
31	3,750	0,002	6,982	0,006	0,537	0,000	3,638	0,004	6,652	0,029	0,547	0,000
32	3,740	0,001	6,964	0,003	0,537	0,000	3,652	0,002	6,739	0,007	0,542	0,000
33	3,726	0,001	7,000	0,009	0,532	0,000	3,735	0,001	6,892	0,005	0,542	0,000
34	3,701	0,000	6,891	0,000	0,537	0,000	3,760	0,004	6,937	0,013	0,542	0,000
35	3,662	0,002	6,818	0,008	0,537	0,000	3,706	0,000	6,838	0,000	0,542	0,000
36	3,652	0,002	6,739	0,028	0,542	0,000	3,745	0,002	6,973	0,022	0,537	0,000
37	3,701	0,000	6,954	0,002	0,532	0,000	3,647	0,003	6,730	0,009	0,542	0,000
38	3,750	0,002	6,982	0,006	0,537	0,000	3,691	0,000	6,811	0,000	0,542	0,000
39	3,667	0,001	6,890	0,000	0,532	0,000	3,662	0,001	6,757	0,004	0,542	0,000
40	3,687	0,000	6,927	0,000	0,532	0,000	3,647	0,003	6,730	0,009	0,542	0,000
min	3,647		6,739		0,532		3,638		6,652		0,537	
máx	3,760		7,046		0,542		3,760		6,973		0,547	
range	0,113		0,307		0,010		0,122		0,321		0,010	
$\bar{q}$	3,701375		6,90725		0,536		3,69725		6,823425		0,542	
$s^2(q)$	0,001	0,052	0,006	0,237	0,000	0,000	0,002	0,069	0,007	0,280	0,000	0,000
$u(q) = s(q)$	0,006		0,01		0,0004		0,007		0,01		0,0003	

Tabela 22 - Cálculo da Incerteza do Tipo A dos resultados de índice de refração com fibra multimodo.

	ÍNDICE DE REFRAÇÃO COM FIBRA MULTIMODO											
	SKOL						PEPSI					
n	CH1 (V)	(qj - q)²	CH2 (V)	(qj - q)²	CH1/CH2	(qj - q)²	CH1 (V)	(qj - q)²	CH2 (V)	(qj - q)²	CH1/CH2	(qj - q)²
1	0,446	0,000	0,259	0,000	1,720	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,526	0,000
2	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,528	0,000
3	0,446	0,000	0,260	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
4	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,527	0,000
5	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
6	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,528	0,000
7	0,446	0,000	0,259	0,000	1,718	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,526	0,000
8	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
9	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
10	0,446	0,000	0,259	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
11	0,446	0,000	0,259	0,000	1,720	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,526	0,000
12	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
13	0,446	0,000	0,259	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
14	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
15	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
16	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
17	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
18	0,446	0,000	0,259	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
19	0,446	0,000	0,260	0,000	1,717	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
20	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,526	0,000
21	0,446	0,000	0,260	0,000	1,720	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
22	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
23	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
24	0,446	0,000	0,259	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
25	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
26	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,399	0,000	0,261	0,000	1,526	0,000
27	0,446	0,000	0,259	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
28	0,446	0,000	0,259	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
29	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,522	0,000
30	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
31	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
32	0,446	0,000	0,260	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
33	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
34	0,446	0,000	0,260	0,000	1,720	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
35	0,446	0,000	0,260	0,000	1,717	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
36	0,446	0,000	0,260	0,000	1,719	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
37	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
38	0,446	0,000	0,259	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,525	0,000
39	0,446	0,000	0,260	0,000	1,718	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,523	0,000
40	0,446	0,000	0,259	0,000	1,717	0,000	0,398	0,000	0,261	0,000	1,524	0,000
mín	0,446		0,259		1,717		0,398		0,261		1,522	
máx	0,446		0,260		1,720		0,399		0,261		1,528	
range	0,001		0,000		0,003		0,002		0,000		0,006	
q̄	0,446		0,259		1,719		0,398		0,261		1,525	
s² (q)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
u (q̄) = s (q̄)	0,00004		0,000008		0,0001		0,0001		0,00001		0,0002	

Já que as medições de condutividade em laboratório tiveram variação de temperatura, a Incerteza do Tipo B foi estimada conforme descrito no Capítulo 3 desta dissertação. A Incerteza do Tipo B é aplicada quando a incerteza é realizada por outros meios que não a análise estatística de uma série de observações.

Na Tabela 23 é mostrada a Incerteza padrão $u(x)$ para cada resultado obtido de condutividade em laboratório (Sukita, Pepsi, Brahma, Antarctica e Skol).

Tabela 23 - Cálculo da Incerteza do Tipo B dos valores de condutividade obtidos em laboratório.

	Condutividade em Laboratório ($\mu\text{S/cm}$)									
	06 - Sukita 06/02/05 MG4133 1 16:58	$u(x)$	07 - Pepsi Amostra Interlaboratori al 2º Teste	$u(x)$	08 - Brahma 11/01/05 JA11:37 2	$u(x)$	09 - Antarctica 06/01/05 JA12:54 2	$u(x)$	10 - Skol 23/01/05 JA05:00 2	$u(x)$
1	431	0,216	762	0,381	742	0,371	774	0,387	739	0,370
2	442	0,221	774	0,387	788	0,394	816	0,408	800	0,400
3	465	0,233	795	0,398	840	0,420	857	0,429	842	0,421
4	478	0,239	813	0,407	869	0,435	917	0,459	899	0,450
5	497	0,249	825	0,413	915	0,458	936	0,468	932	0,466
6	510	0,255	836	0,418	936	0,468	961	0,481	951	0,476
7	520	0,260	847	0,424	949	0,475	986	0,493	967	0,484
8	541	0,271	856	0,428	982	0,491	1004	0,502	985	0,493
9	546	0,273	865	0,433	998	0,499	1028	0,514	997	0,499
10	551	0,276	873	0,437	1023	0,512	1046	0,523	1009	0,505
11	558	0,279	882	0,441	1037	0,519	1052	0,526	1016	0,508
12	564	0,282	886	0,443	1041	0,521	1068	0,534	1037	0,519
13	570	0,285	916	0,458	1052	0,526	1074	0,537	1036	0,518
14	578	0,289	932	0,466	1056	0,528	1080	0,540	1049	0,525
15	585	0,293	943	0,472	1068	0,534	1099	0,550	1054	0,527

Para obter esses resultados de incerteza utilizou-se o seguinte dado de referência proveniente do manual do Condutímetro DM-31 da marca Digimed: Precisão relativa 0,05% (fe).

Também calculou-se a Incerteza do Tipo B através da Repetitividade e da Reprodutibilidade do Índice de Refração da Skol medidos com a fibra óptica do tipo multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio).

Nas Tabelas 24 e 25 têm-se os resultados obtidos com a realização da repetitividade e da reprodutibilidade, respectivamente.

Tabela 24 – Dados obtidos com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio), da Skol para o cálculo da Repetitividade do método.

	SKOL 1	SKOL 2	SKOL 3	SKOL 4	SKOL 5	SKOL 6	SKOL 7
	1,6269	1,6299	1,6274	1,6236	1,6105	1,6106	1,6628
	1,6265	1,6246	1,6231	1,6242	1,6096	1,6115	1,6635
	1,6274	1,6257	1,6202	1,6251	1,6105	1,6128	1,6603
	1,6279	1,6237	1,6237	1,6230	1,6097	1,6123	1,6624
	1,6269	1,6240	1,6210	1,6235	1,6093	1,6110	1,6622
	1,6251	1,6230	1,6206	1,6239	1,6075	1,6112	1,6634
	1,6279	1,6238	1,6219	1,6240	1,6114	1,6130	1,6620
	1,6276	1,6210	1,6197	1,6248	1,6101	1,6113	1,6633
	1,6268	1,6213	1,6205	1,6226	1,6083	1,6106	1,6607
	1,6263	1,6217	1,6224	1,6246	1,6092	1,6102	1,6618
	1,6276	1,6215	1,6217	1,6230	1,6091	1,6101	1,6626
	1,6296	1,6200	1,6233	1,6261	1,6078	1,6129	1,6606
	1,6277	1,6205	1,6223	1,6238	1,6069	1,6122	1,6626
	1,6284	1,6200	1,6219	1,6237	1,6073	1,6122	1,6625
	1,6290	1,6198	1,6233	1,6241	1,6088	1,6131	1,6602
	1,6290	1,6226	1,6233	1,6260	1,6084	1,6127	1,6610
	1,6267	1,6185	1,6240	1,6264	1,6076	1,6120	1,6603
	1,6281	1,6272	1,6262	1,6250	1,6069	1,6118	1,6619
	1,6256	1,6230	1,6257	1,6245	1,6100	1,6124	1,6618
	1,6242	1,6174	1,6270	1,6247	1,6091	1,6115	1,6617
	1,6245	1,6200	1,6246	1,6222	1,6106	1,6120	1,6616
	1,6265	1,6228	1,6263	1,6242	1,6075	1,6129	1,6620
	1,6267	1,6252	1,6273	1,6236	1,6090	1,6122	1,6612
	1,6268	1,6260	1,6291	1,6248	1,6065	1,6129	1,6608
	1,6259	1,6282	1,6300	1,6259	1,6079	1,6120	1,6594
	1,6258	1,6265	1,6298	1,6241	1,6078	1,6112	1,6609
	1,6232	1,6279	1,6309	1,6261	1,6061	1,6113	1,6595
	1,6256	1,6255	1,6307	1,6245	1,6076	1,6102	1,6603
	1,6246	1,6275	1,6322	1,6240	1,6073	1,6118	1,6603
	1,6271	1,6282	1,6325	1,6241	1,6062	1,6134	1,6602
	1,6255	1,6271	1,6324	1,6249	1,6057	1,6110	1,6614
	1,6273	1,6245	1,6335	1,6258	1,6063	1,6114	1,6598
	1,6257	1,6247	1,6344	1,6243	1,6083	1,6123	1,6602
	1,6261	1,6214	1,6355	1,6250	1,6065	1,6113	1,6593
	1,6267	1,6204	1,6359	1,6244	1,6081	1,6129	1,6585
	1,6265	1,6193	1,6364	1,6251	1,6063	1,6132	1,6615
	1,6263	1,6191	1,6363	1,6236	1,6062	1,6122	1,6587
	1,6254	1,6174	1,6383	1,6243	1,6080	1,6120	1,6577
	1,6259	1,6187	1,6374	1,6244	1,6076	1,6119	1,6584
	1,6294	1,6173	1,6403	1,6246	1,6069	1,6114	1,6607
	1,6280	1,6161	1,6394	1,6256	1,6081	1,6116	1,6602
	1,6288	1,6161	1,6408	1,6250	1,6061	1,6122	1,6585
	1,6294	1,6163	1,6401	1,6230	1,6077	1,6111	1,6588
máximo	1,6296	1,6299	1,6408	1,6264	1,6114	1,6134	1,6635
mínimo	1,6232	1,6161	1,6197	1,6222	1,6057	1,6101	1,6577
média	1,6268	1,6225	1,6287	1,6244	1,6081	1,6119	1,6609
s	0,0015	0,0037	0,0065	0,0010	0,0014	0,0009	0,0015

Tabela 25 – Dados obtidos com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio), da Skol para o cálculo da Reprodutibilidade do método.

	SKOL 1	SKOL 2	SKOL 3	SKOL 4	SKOL 5
	1,7821	1,8001	1,7763	1,6967	1,6374
	1,7800	1,8000	1,7110	1,6987	1,6498
	1,7809	1,8007	1,7096	1,6978	1,6491
	1,7801	1,7996	1,7098	1,6960	1,6510
	1,7801	1,7971	1,7097	1,6991	1,6502
	1,7793	1,7957	1,7112	1,6968	1,6507
	1,7795	1,7980	1,7125	1,6976	1,6520
	1,7781	1,8001	1,7097	1,6970	1,6499
	1,7802	1,7983	1,7104	1,6965	1,6515
	1,7781	1,7980	1,7103	1,6968	1,6521
	1,7783	1,7970	1,7099	1,6962	1,6541
	1,7773	1,7971	1,7103	1,6952	1,6514
	1,7772	1,7962	1,7115	1,6963	1,6554
	1,7788	1,7977	1,7102	1,6935	1,6539
	1,7762	1,7960	1,7117	1,6970	1,6548
	1,7762	1,7961	1,7090	1,6950	1,6544
	1,7752	1,7963	1,7089	1,6962	1,6552
	1,7762	1,7946	1,7063	1,6977	1,6551
	1,7740	1,7952	1,7097	1,6962	1,6544
	1,7738	1,7959	1,7096	1,6976	1,6575
	1,7740	1,7934	1,7097	1,6970	1,6571
	1,7737	1,7948	1,7092	1,6956	1,6567
	1,7737	1,7956	1,7094	1,6952	1,6560
	1,7748	1,7927	1,7103	1,6956	1,6578
	1,7751	1,7949	1,7110	1,6971	1,6567
	1,7740	1,7942	1,7091	1,6975	1,6567
	1,7747	1,7925	1,7077	1,6980	1,6551
	1,7737	1,7918	1,7103	1,6956	1,6587
	1,7729	1,7916	1,7089	1,6972	1,6578
	1,7716	1,7930	1,7094	1,6964	1,6579
	1,7724	1,7932	1,7114	1,6951	1,6572
	1,7740	1,7940	1,7079	1,6947	1,6595
	1,7713	1,7918	1,7089	1,6961	1,6582
	1,7712	1,7917	1,7071	1,6943	1,6582
	1,7717	1,7903	1,7103	1,6941	1,6600
	1,7706	1,7921	1,7075	1,6952	1,6560
	1,7703	1,7914	1,7072	1,6937	1,6587
	1,7720	1,7912	1,7073	1,6940	1,6576
	1,7707	1,7892	1,7093	1,6943	1,6590
	1,7718	1,7909	1,7092	1,6944	1,6585
	1,7713	1,7918	1,7096	1,6931	1,6591
	1,7717	1,7904	1,7103	1,6935	1,6581
	1,7682	1,7902	1,7087	1,6918	1,6592
mínimo	1,7682	1,7892	1,7063	1,6918	1,6374
máximo	1,7821	1,8007	1,7763	1,6991	1,6600
média	1,7751	1,7947	1,7124	1,6959	1,6548
s	0,0035	0,0031	0,0103	0,0016	0,0041

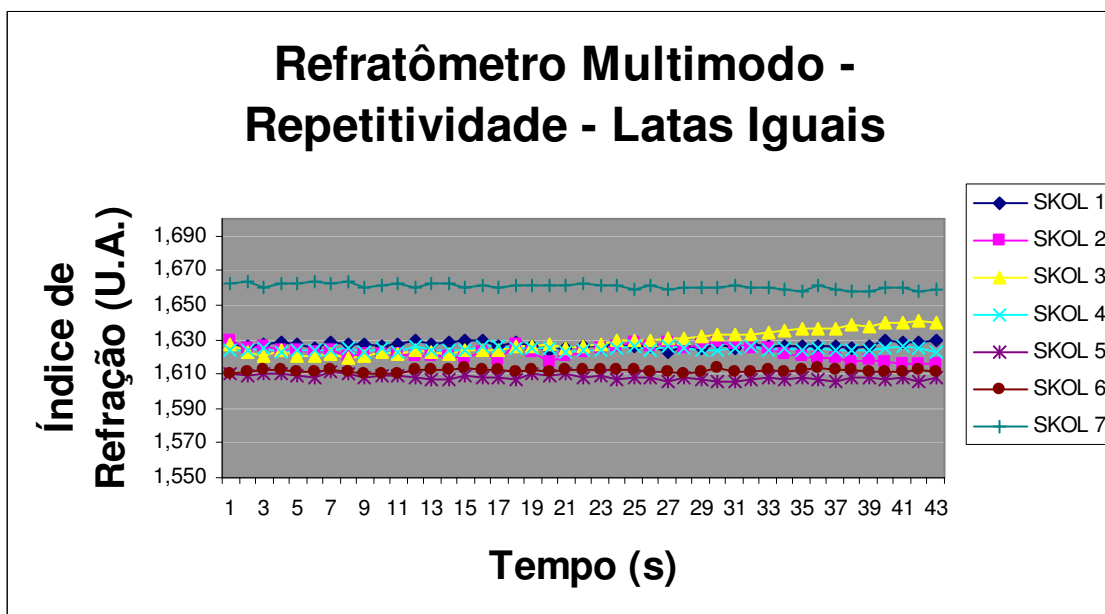


Figura 44 – Medições do Tempo X Índice de Refração para Skol (latas iguais), obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio) para o cálculo da Repetitividade do método.

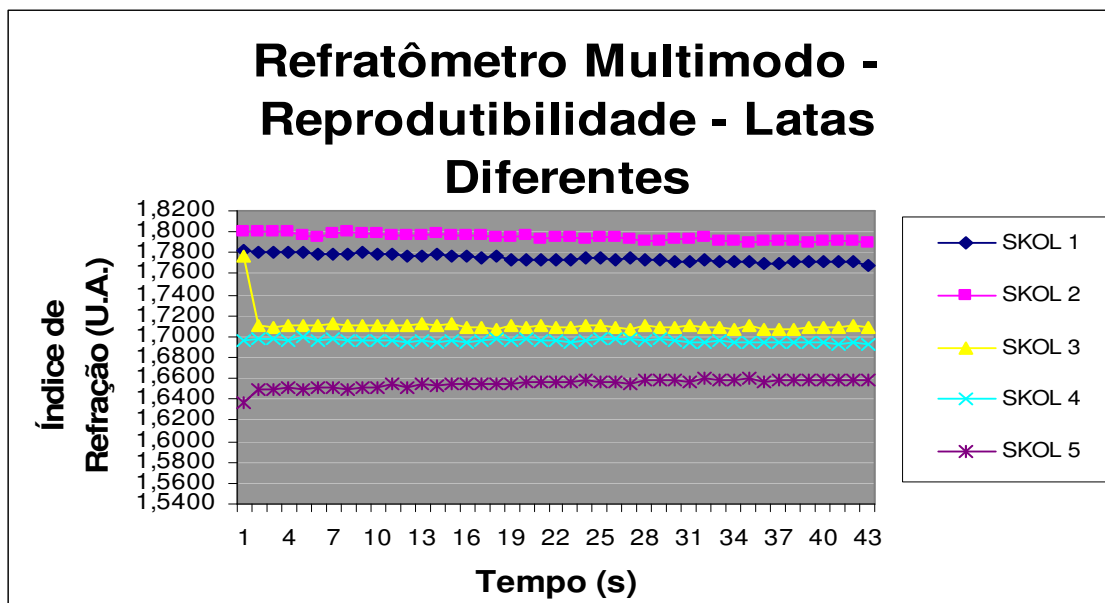


Figura 45 – Medições do Tempo X Índice de Refração para Skol (latas diferentes), obtidos com um sensor à fibra óptica multimodo fabricado pela Gavea Sensors (medições realizadas no LSFO da PUC-Rio) para o cálculo da Reprodutibilidade do método.

Calculou-se então a Incerteza do Tipo A desses dados, e considerou-se como Incerteza do Tipo B, pois foram obtidos através de dados de medições anteriores. Nas Tabelas 26 e 27 observa-se a incerteza $u(\bar{q})$, que neste caso está sendo considerada como $u(x)$ calculada tanto para a repetitividade, quanto para a reprodutibilidade.

Tabela 26 – Cálculo da Incerteza do Tipo A, considerado como Incerteza do Tipo B, aplicado à repetitividade do índice de refração com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo .

Repetitividade IR com fibra multimodo							
n	SKOL 1	SKOL 2	SKOL 3	SKOL 4	SKOL 5	SKOL 6	SKOL 7
mín	1,623	1,616	1,620	1,622	1,606	1,610	1,658
máx	1,630	1,628	1,641	1,626	1,611	1,613	1,663
range	0,006	0,012	0,021	0,004	0,006	0,003	0,006
$\bar{q}$	1,513	1,509	1,515	1,511	1,496	1,499	1,545
$s^2(q)$	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,013
$u(\bar{q}) = s(\bar{q})$	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017

Tabela 27 – Cálculo da Incerteza do Tipo A, considerado como Incerteza do Tipo B, aplicado à reprodutibilidade do índice de refração com a utilização de um sensor à fibra óptica multimodo .

Repetitividade IR com fibra multimodo					
n	SKOL 1	SKOL 2	SKOL 3	SKOL 4	SKOL 5
mín	1,768	1,789	1,706	1,692	1,6499
máx	1,780	1,800	1,713	1,699	1,66
range	0,012	0,011	0,006	0,007	0,0101
$\bar{q}$	1,651	1,669	1,590	1,577	1,540312
$s^2(q)$	0,015	0,015	0,014	0,013	0,012718
$u(\bar{q}) = s(\bar{q})$	0,018	0,019	0,018	0,018	0,017198

4.6

Discussão dos resultados e sugestão da melhor metodologia

Os resultados discutidos no item 4.1 mostram que a densimetria poderia ser utilizada como um método para a distinção entre as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas da AmBev sendo, portanto, possível controlar a cobrança de impostos para estes dois tipos de bebidas (cujos impostos têm valores diferentes). No entanto, a mistura de produtos utilizada na limpeza da linha de envase apresenta densidade muito próxima da densidade de refrigerantes do tipo diet e light, o que causaria uma cobrança indevida de impostos.

Os resultados discutidos no item 4.2 mostram que medições de pH são adequadas para a distinção entre as bebidas alcoólicas e não-alcoólicas da AmBev, pois estas possuem pHs distribuídos em diferentes faixas sem superposição. Além do mais, os valores de pH não variam em função da temperatura para as temperaturas de envase. No entanto, o uso do pHmetro na linha de envase de bebidas traria o risco de contaminação por vidro, caso se quebrasse, e facilitaria a sonegação, pois é vulnerável a campos eletromagnéticos externos.

Os resultados discutidos no item 4.3 mostram que a condutividade, apesar de ser o método definido na Medida Provisória nº 2.158-35 para a diferenciação de bebidas, não é capaz de diferenciar uma das bebidas não-alcoólicas (Pepsi) das cervejas alcoólicas testadas. Além deste problema, este método facilita a sonegação fiscal, pois é vulnerável a campos eletromagnéticos externos.

Os resultados discutidos no item 4.4 mostram que, apesar das diferenças entre a utilização das fibras ópticas dos tipos monomodo e multimodo, o desvio padrão com a utilização da fibra óptica do tipo multimodo é muito menor que com a utilização da fibra do tipo monomodo, porém as faixas foram mais bem definidas com a utilização da fibra do tipo monomodo). Propõe-se que o Índice de Refração com sensor à fibra óptica, dentre os demais métodos testados e discutidos nessa Dissertação, seja o método mais confiável, pois não sofre interferência eletromagnética, e diferencia as bebidas alcoólicas das não-alcoólicas.

Além disso, através da figura 43, propõe-se a combinação entre as duas técnicas (Condutometria e Refratometria Óptica) como forma segura de identificação de bebidas.

No caso da utilização do método de Índice de Refração com sensor à fibra óptica, deve-se calibrar o sistema realizando-se uma checagem inicial e final em dois líquidos com índice de refração conhecidos:

- água à 20°C (grau milli-Q, previamente estabilizada durante uma semana ou pré-aquecida a aproximadamente 60°C para eliminação das bolhas) cujo o índice de refração é igual a 1,333;
- ar, cujo o índice de refração é 1,000.