



# QUANTIFICAÇÃO DO METABOLISMO AERÓBIO E ANAERÓBIO DE LEVEDURA ALCOÓLICA POR MÉTODO ESTEQUIOMÉTRICO

Waldemar Gastoni Venturini Filho<sup>1</sup>, Luciana Trevisan Brunelli<sup>2</sup>, Juliano Toniato<sup>3</sup> & Toshio Nojimoto<sup>4</sup>

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi quantificar, por meio de método estequiométrico, o metabolismo aeróbio (respiração) e anaeróbio (fermentação alcoólica) de diferentes cepas de levedura de panificação (Apti, Fleischmann, Mauri, Pakmaya e Uniferm) durante a fermentação de mosto de cana, e da cepa Fleischmann na fermentação de mostos de cana, uva e malte. Os tratamentos foram conduzidos com três repetições. A partir das massas de gás carbônico e de etanol produzidos no processo, foi possível, mediante cálculos estequiométricos, determinar o percentual de açúcar que foi fermentado e respirado. A levedura Fleischmann respirou melhor em mosto de cana (14,21%) que em mostos de uva (10,85%) e malte (11,17%). As leveduras produzidas no Brasil (Fleischmann e Mauri) apresentaram taxas de respiração maior que 10% enquanto que as importadas (Apti, Pakmaya e Uniferm) exibiram taxas menores que 10%. O método estequiométrico usado para estimar o metabolismo aeróbio e anaeróbio de leveduras de panificação durante a fermentação de mostos mostrou-se uma ferramenta simples e prática, podendo ser aproveitado nas atividades de ensino, pesquisa e industrial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fermentação, respiração; fermento alcoólico.

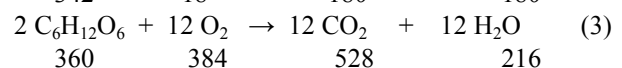
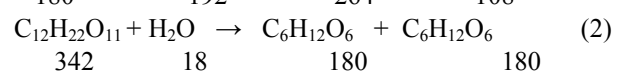
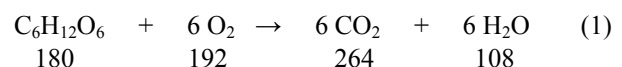
## YEASTS AEROBIC AND ANAEROBIC METABOLIC QUANTIFICATION BY STOICHIOMETRIC METHOD

**ABSTRACT:** The aim of this study was to quantify aerobic (respiration) and anaerobic (alcoholic fermentation) metabolisms using a stoichiometric approach for several yeasts (Apti, Fleischmann, Mauri, Pakmaya and Uniferm) during sugarcane must fermentation and during Fleischmann's fermentation of grape, malt, and sugarcane musts. Treatments were conducted in triplicates. From carbon dioxide and ethanol mass produced, it is possible to determine, by stoichiometric calculations, the percentage of sugar respired and fermented. Fleischmann showed higher *respiration rate* in sugarcane must (14,21%) than in grape (10,85%) and malt (11,17%) musts. Yeasts produced in Brazil (Fleischmann and Mauri) presented respiratory rates greater than 10% while the others (Apti, Pakmaya and Uniferm) showed rates below 10%. The stoichiometric method herein used to estimate aerobic and anaerobic metabolisms during musts fermentation proved to be a practical and yet simple tool that could be used in teaching, research and industrial activities.

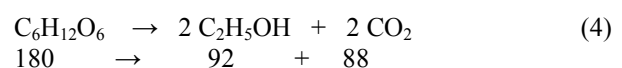
**KEYWORDS:** Fermentation, respiration, alcoholic fermentation.

## 1 INTRODUÇÃO

As leveduras alcoólicas da espécie *Saccharomyces cerevisiae* utilizam açúcares como substrato para seu metabolismo. Classificadas como microrganismos facultativos, podem catabolizar açúcares, para a produção de energia química celular (ATP), por vias aeróbia e anaeróbica (CASTRILLO; UGALDE, 1994 e CHAVAN; JANA, 2008). No primeiro caso, conhecido como respiração, uma molécula de açúcar (glicose, frutose, sacarose ou maltose) é oxidada, na presença de oxigênio, resultando gás carbônico e água, nas quantidades estequiométricas mostradas na equação 1 (glicose ou frutose) e 2 e 3 (sacarose ou maltose).

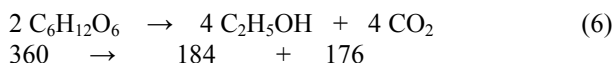
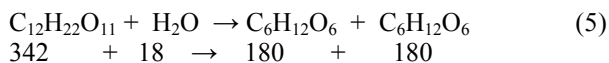


No segundo caso, conhecido como fermentação alcoólica, uma molécula de açúcar (glicose, frutose, sacarose ou maltose) é oxidada, na ausência de oxigênio, resultando etanol e gás carbônico, nas quantidades estequiométricas mostradas na equação 4 (glicose ou frutose) e 5 e 6 (sacarose ou maltose).



<sup>1</sup> Departamento de Horticultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP. E-mail: venturini@fca.unesp.br

<sup>2</sup>, <sup>3</sup> e <sup>4</sup> Emails: lutbrunelli@gmail.com; juliano\_koala@yahoo.com.br; toshio@fca.unesp.br



Käppeli (1986), Gancedo e Serrano (1989) e Aidoo et al. (2006) afirmaram que para algumas leveduras o metabolismo oxidativo (respiração) ocorre simultaneamente ao metabolismo oxirredutor (fermentação), num padrão misto intitulado pelos autores de “respirofermentativo”.

Kocková-Kratochvílová (1990) informou que em algumas leveduras a respiração e a fermentação ocorrem na mesma extensão; enquanto que em outras, um desses processos predomina. Esta autora dividiu as leveduras em três grupos, em função de sua capacidade respiratória: a) prevalência da respiração: leveduras forrageiras (respiração é responsável por 100% do catabolismo); b) respiração e fermentação são semelhantes: leveduras patogênicas, de panificação e cervejeira de alta fermentação (respiração corresponde a 40-50% do catabolismo); c) prevalência da fermentação: leveduras de destilaria, vinho e cervejeira de baixa fermentação (respiração responde por 10-15% do catabolismo).

Castrillo e Ugalde (1994) e Briggs et al. (2004) afirmaram que leveduras facultativas podem ser classificadas como de tipo respiratório (mais de 70% do açúcar metabolizado por respiração) e do tipo fermentativo (menos de 10% do açúcar é respirado). Esses últimos autores enumeram vários tipos de catabolismo de açúcar em leveduras: a) efeito Crabtree *short-term* – atenuação da respiração pela presença de glicose; b) efeito Crabtree *long-term* – repressão e inativação da respiração pela presença de glicose; c) efeito Pasteur – redução da glicólise sob condições aeróbias; d) efeito Kluyver – utilização obrigatória aeróbia de dissacarídeos; e) efeito Custers – estimulação aeróbia da fermentação da glicose.

Para Ingledew (2009), a concentração de açúcar no mosto das destilarias americanas de etanol é alta (muito mais que 0,1% m/v), conseqüentemente as leveduras não são capazes de crescer sob condições aeróbias, mesmo na presença de aproximadamente 4 mg.L<sup>-1</sup> de oxigênio, proveniente do ar acima da superfície do mosto. Assim, o açúcar é metabolizado apenas por metabolismo anaeróbio. Segundo este autor, mais que 90% dos açúcares presente no mosto são metabolizados anaerobiamente por meio da fermentação alcoólica, enquanto que os restantes são usados no crescimento celular.

Para Fiechter e Käppeli (1987) e Gancedo e Serrano (1989), as condições ambientais, tais como tipo e concentração de açúcares, bem como o suprimento de oxigênio, determinam o metabolismo energético das leveduras. A base molecular do fenômeno respirofermentativo está relacionada à repressão de várias enzimas respiratórias pelos açúcares, nas

leveduras do tipo respiratório (GANCEDO; SERRANO, 1989 e FRAENKELL, 1982). Numa abordagem diferente, Munroe (1994) e Russell (2006) afirmaram que o oxigênio do mosto é usado pela levedura para a síntese de ácidos graxos insaturados e esteróis, essenciais na síntese da membrana celular. Esses autores não mencionaram os efeitos Pasteur e Crabtree.

De acordo com Kocková-Kratochvílová (1994), os processos de respiração e fermentação podem ser mensurados manometricamente baseados no consumo de oxigênio ou na produção de gás carbônico. A relação entre fermentação e respiração é expressa por um quociente respiratório (Q<sub>R</sub>) cujo valor varia com o tipo de levedura. O valor de Q<sub>R</sub> para uma dada cultura é mais elevado sob condições anaeróbias do que sob aerobiose. Os valores mais frequentemente relatados para levedura de panificação é 2 a 3, para levedura de vinho 6 a 10 e para levedura cervejeira de baixa fermentação 10 a 30.

O quociente respiratório é definido pela equação 7 (FERNANDES, 2008):

$$Q_R = \frac{\text{CO}_2 \text{ produzido}}{\text{O}_2 \text{ consumido}} \quad (7)$$

Os trabalhos que quantificaram os metabolismos aeróbio e anaeróbio de leveduras alcoólicas utilizaram o conceito de quociente respiratório (Q<sub>R</sub>) (FERNANDES, 2008). A presente pesquisa propõe-se quantificar, por meio de método estequiométrico, o metabolismo aeróbio (respiração) e anaeróbio (fermentação alcoólica) de diferentes cepas de leveduras de panificação (Apti, Fleischmann, Mauri, Pakmaya e Uniferm) durante a fermentação de mosto de cana, e da cepa Fleischmann na fermentação de mostos de cana, uva e malte.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas partes. Na primeira, trabalhou-se com uma cepa de levedura de panificação (Fleischmann) e três tipos de mostos (cana, uva e malte). Os testes foram conduzidos com 3 tratamentos (tipos de mostos) e 3 repetições, perfazendo 9 parcelas experimentais.

Na segunda parte, empregou-se mosto de caldo de cana e cinco diferentes cepas de levedura de panificação (Apti, Fleischmann, Mauri, Pakmaya e Uniferm). O experimento foi conduzido com 5 tratamentos (cepas de leveduras) e 3 repetições, resultando em 15 parcelas experimentais.

Como os tratamentos (tipos de mostos e cepas de leveduras) são qualitativos, a análise estatística foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (VIEIRA, 2006). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (nas duas etapas). Os cálculos estatísticos foram feitos com auxílio do programa ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009).

Na parte 1, foram preparados mostos de cana, uva e malte, com concentração de sólidos solúveis de 15 °Brix. A correção do teor de sólidos solúveis (Brix) foi realizada por meio da adição de água deionizada, com o auxílio do balanço de massa de sólidos solúveis, apresentado na equação 8 (VENTURINI FILHO et al., 2013):

$$B_1 * M_1 + B_2 * M_2 = B_3 * M_3 \quad (8)$$

$B_1$  = teor de sólidos solúveis do caldo de cana, suco de uva e mosto inicial de malte (°Brix)

$M_1$  = massa do caldo de cana, suco de uva e mosto inicial de malte (g)

$B_2$  = teor de sólidos solúveis da água deionizada (0 °Brix)

$M_2$  = massa da água deionizada (g)

$B_3$  = teor de sólidos solúveis do mosto de cana, uva e malte (15 °Brix)

$M_3$  = massa de mosto (g)

Na parte 2, mosto de cana a 20 °Brix foi preparado a partir de caldo de cana e água deionizada, conforme balanço de massa de sólidos solúveis (equação 8).

Nas duas etapas do trabalho, foi preparado 1,0 litro de mosto e inoculou-se fermento seco de panificação, na proporção de 100 g L<sup>-1</sup>. Um béquer de 4 litros foi usado como fermentador e um bastão plástico de agitação (parte constituinte do sistema de fermentação) foi usado para quebrar a espuma formada nas primeiras horas de fermentação (todos os tratamentos foram agitados exatamente da mesma forma). Na repetição 2, o bastão plástico foi substituído por termômetro para mensurar a temperatura do mosto em fermentação. A fermentação transcorreu à temperatura ambiente. Foram feitas leituras horárias de massa de mosto em fermentação. As massas de mosto em fermentação foram determinadas em balança de precisão (marca Gehaka, modelo BG2000). Após a 10ª leitura, o experimento foi interrompido e determinou-se o teor alcoólico dos mostos fermentados (vinhos).

No vinho, analisou-se o teor alcoólico pelo método da destilação (destilador marca Büchi, modelo K355), procedeu-se a leitura da densidade do destilado (densímetro digital marca Mettler, modelo DA310) e converteu-se densidade em teor alcoólico (% v/v) por meio de tabela (BRASIL, 2005).

As massas de gás carbônico produzido no processo foram determinadas pela diferença de duas leituras consecutivas das massas de mosto em fermentação.

A quantificação do metabolismo aeróbio e anaeróbio da levedura durante a o processo fermentativo foi estimada estequiometricamente por meio da quantificação relativa do açúcar respirado e fermentado. Na parte 1, o açúcar de referência foi a glicose, enquanto que na parte 2, a sacarose. Para isso, seguiu-se o seguinte protocolo (VENTURINI FILHO et al., 2013).

Cálculo do açúcar fermentado (metabolismo anaeróbio):

- Determinou-se o teor alcoólico do vinho;
- Calculou-se a massa de etanol no vinho;
- A partir da massa de etanol, calculou-se estequiometricamente (Equações 4, 5 e 6) a massa do açúcar fermentado;

Cálculo do açúcar respirado (metabolismo aeróbio):

- Mensurou-se a massa total de CO<sub>2</sub> produzida no processo. Este gás carbônico foi proveniente tanto do metabolismo aeróbio como do anaeróbio;
- Converteu-se estequiometricamente a massa de etanol formado na fermentação alcoólica em massa de gás carbônico (Equações 4, 5 e 6). Este foi o CO<sub>2</sub> formado através do metabolismo anaeróbio;
- Calculou-se a massa de CO<sub>2</sub> proveniente da respiração, mediante subtração da massa total de gás carbônico produzido no processo pela massa de gás carbônico produzido pelo metabolismo anaeróbio;
- Converteu-se estequiometricamente a massa de CO<sub>2</sub> proveniente do metabolismo respiratório em massa de açúcar respirado (Equações 1, 2 e 3).
- A massa total de açúcar catabolizado é obtida pela soma da massa de açúcar fermentado e açúcar respirado.

A quantificação relativa de açúcar fermentado e respirado é feita por meio das equações 9 e 10:

$$\text{Açúcar fermentado}(\%) = \frac{\text{Massa açúcar fermentado}}{\text{Massa açúcar fermentado} + \text{Massa açúcar respirado}} * 100 \quad (9)$$

$$\text{Açúcar respirado}(\%) = 100 - \text{Açúcar fermentado} \quad (10)$$

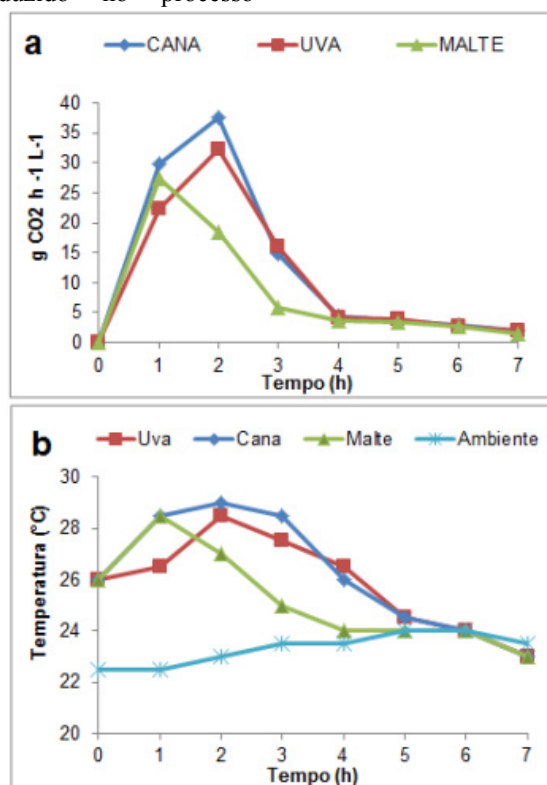
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Parte 1

Os picos de produção de gás carbônico e de calor ocorreram nas primeiras duas horas de fermentação, isto é, no início do processo (Figuras 1a e 1b). As maiores taxas de produção de CO<sub>2</sub> e de calor ocorreram na fermentação dos mostos de cana e uva. Para uma mesma concentração de sólidos solúveis (15 °Brix), os mostos de cana e uva continham maiores quantidades de açúcares fermentescíveis em relação ao mosto de malte. No mosto de malte apenas 70 a 80% dos carboidratos são fermentescíveis devido à presença de dextrinas não fermentescíveis (20 a 30%) (DRAGONE; ALMEIDA, 2010). A produção de CO<sub>2</sub> por via respiratória ocorreu nas primeiras horas de fermentação quando havia O<sub>2</sub>

dissolvido no meio, antes de seu arraste para fora do fermentador pelo CO<sub>2</sub> produzido no processo

respiratório e fermentativo da levedura.



**Figura 1 - Produção de gás carbônico (a) e temperatura (b) do processo fermentativo de mostos de cana, uva e malte.**

Os dados da Tabela 1 são apresentados em forma sequencial dos cálculos efetuados.

A menor concentração de açúcar no mosto de malte, devido à presença de dextrina em sua composição, resultou em menor teor alcoólico no seu fermentado (Tabela 1). Em trabalho realizado pelos mesmos autores

(VENTURINI FILHO et al., 2013), foi observado, que para um mesmo tipo de mosto (cana ou melaço), quanto menor a concentração de açúcar, maior será a taxa de respiração da levedura (Efeito Crabtree), mas isso não foi observado para o mosto de malte, como será discutido adiante.

**Tabela 1 - Quantificação da glicose fermentada e respirada durante o processo de fermentação dos mostos de cana, uva e malte.**

	Mosto (°Brix)		
	Cana	Uva	Malte
Teor alcoólico vinho (% v/v)	8,42	8,07	6,05
Volume etanol vinho (mL)	84,20	80,73	60,47
Massa etanol vinho (g)	66,52	63,78	47,77
Massa CO <sub>2</sub> metabolismo anaeróbio (g)	63,63	61,01	45,69
Massa glicose fermentada (g)	130,14	124,79	93,46
Massa CO <sub>2</sub> fermentação + respiração (g)	95,25	83,29	62,95
Massa CO <sub>2</sub> respiração (g)	31,62	22,29	17,25
Massa glicose respirada (g)	21,56	15,20	11,76
Massa glicose fermentada + respirada (g)	151,71	139,98	105,23
Glicose fermentada (%)	85,79b	89,15a	88,83a
Glicose respirada (%)	14,21a	10,85b	11,17b

No presente trabalho a taxa de açúcar respirado ficou entre 10,85% (uva) e 14,21% (cana). De acordo com Kocková-Kratochvílová (1990), a levedura usada neste trabalho deve ser classificada como de metabolismo facultativo, do tipo fermentativo (prevalência do metabolismo anaeróbio), em que a taxa de respiração

fica entre 10 e 15%. Para Briggs et al. (2005), leveduras fermentativas apresentam taxas respiratórias abaixo de 10%.

Fiechter e Käppeli (1987), Gancedo e Serrano (1989) e Kocková-Kratochvílová (1990) afirmaram que o tipo de

metabolismo das leveduras depende do tipo de cultura (espécie e cepa) e das condições de ambiente. No presente trabalho, fatores ambientais (concentração e tipo de açúcar) podem ter influenciado no resultado da fermentação do mosto de malte em que a levedura apresentou, assim como no mosto de uva, a menor taxa respiratória. Essa autora, Kratochvílová (1990), afirmou que a maltose apresenta as menores taxas de respiração para levedura alcoólica da espécie *S. carlbergensis* (atualmente classificada como *S. cerevisiae*). A pesquisadora também relata que a baixa atividade respiratória da levedura no mosto de uva ocorre devido ao pH baixo, pois este favorece o metabolismo fermentativo; o mosto de uva no presente trabalho apresentou o menor pH entre todos (3,3).

Pelo exposto, pode-se afirmar que o tipo de substrato (maltose) presente no mosto de malte foi predominante para determinar a baixa taxa de respiração quando comparado com a concentração de açúcar desse meio (responsável pelo Efeito Crabtree).

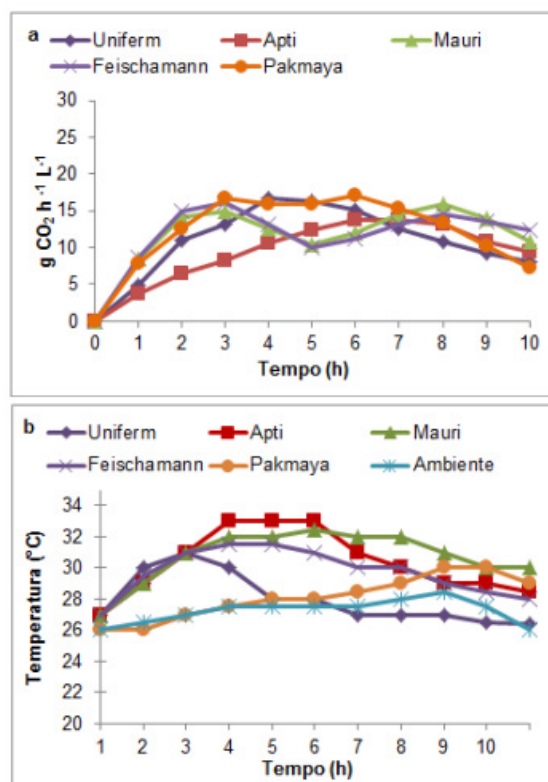
O teste de Tukey revelou que a taxa respiratória da levedura de panificação usada nos mostos de uva e malte foi menor quando comparada ao mosto de cana. Como a taxa de fermentação mantém relação direta com a taxa de respiração (Equações 9 e 10), os valores da análise de variância são os mesmos para ambos os metabolismos (Tabela 2).

**Tabela 2** - Análise de variância para a taxa de glicose respirada e fermentada em mostos de cana, uva e malte.

CV	GL	SQ	QM	F	p
Tratamento	2	20,71902	10,35951	18,4366**	<0,01
Resíduo	6	3,37140	0,56190		
Total	8	24,09042			

#### Parte 2

As quatro cepas de leveduras utilizadas na fermentação do mosto de cana (20 °Brix) atingiram a máxima produção de gás carbônico entre a terceira e sexta hora de fermentação, enquanto os picos de temperatura foram atingidos entre a segunda e nona hora (Figuras 2a e 2b). A diferença de forma entre as Figuras 1 e 2 deve-se aos diferentes teores de sólidos solúveis dos mostos usados na Parte 1 (15 °Brix) e Parte 2 (20 °Brix). Pode-se observar na Figura 1 que as fermentações encerraram com 7 horas, enquanto que a Figura 2 mostra que no tempo 10 horas o processo fermentativo não terminara, evidenciado pela produção de CO<sub>2</sub>. Na primeira parte do trabalho utilizaram-se mostos com 15 °Brix em função da limitação do teor de sólidos solúveis do caldo de cana (15,1 °Brix), cuja matéria-prima não atingira seu melhor ponto de maturação.



**Figura 2** - Produção de gás carbônico (a) e temperatura (b) do processo fermentativo de mostos de cana fermentados por quatro diferentes cepas de levedura.

A Tabela 3 mostra que as leveduras de panificação importadas (Aпти/China, Pakmaya/Turquia e Uniferm/China) apresentaram menores taxas de respiração (menos que 10%), quando comparadas com os fermentos nacionais (Fleischmann, 13,02% e Mauri,

14,64%). Caso esse comportamento que ocorreu em meio líquido também se confirme no meio sólido da massa de pão, as leveduras que respiram melhor podem ser interessantes para a indústria de panificação, já que o crescimento da massa depende da produção de CO<sub>2</sub>. O

metabolismo respiratório produz três vezes mais gás carbônico que o fermentativo, conforme a estequiometria desses processos (Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Poitrenaud (2004) afirmou que o oxigênio do ar incorporado durante a mistura da massa é usado pelo metabolismo aeróbio da

levedura; em seguida, quando o ambiente se torna anaeróbio em função do consumo do oxigênio e produção de gás carbônico, o fermento passa a utilizar o metabolismo anaeróbio.

**Tabela 3 - Quantificação da sacarose fermentada e respirada durante o processo de fermentação dos mostos de cana por cinco diferentes cepas de levedura de panificação.**

	Cepa de levedura				
	Apti	Fleisch.	Mauri	Pakm.	Unif.
Teor alcoólico vinho (% v/v)	11,43	11,74	11,15	13,23	12,08
Volume etanol vinho (mL)	114,27	117,37	111,47	132,30	120,77
Massa etanol vinho (g)	90,27	92,72	88,06	104,52	95,41
Massa CO <sub>2</sub> metabolismo anaeróbio (g)	86,25	88,59	84,14	99,87	91,16
Massa sacarose fermentada (g)	167,68	172,23	163,58	194,15	177,22
Massa CO <sub>2</sub> fermentação + respiração (g)	102,63	128,30	127,39	132,03	117,83
Massa CO <sub>2</sub> respiração (g)	16,38	39,71	43,25	32,16	26,67
Massa sacarose respirada (g)	10,61	25,73	28,03	20,84	17,28
Massa sacarose fermentada + respirada (g)	178,30	197,97	191,60	214,99	194,51
Sacarose fermentada (%)	94,03a	86,98cd	85,36d	90,31bc	91,09ab
Sacarose respirada (%)	5,97d	13,02ab	14,64a	9,69bc	8,91cd

O comportamento respiratório das leveduras importadas foi previsto por Briggs et al. (2005) para quem as leveduras facultativas do tipo fermentativo apresentam taxa de respiração menor que 10%. Por outro lado, as produzidas no Brasil se encaixaram na definição de leveduras de metabolismo anaeróbio proposto por Kocková-Kratochvílová (1990), para quem esse tipo de fermento apresenta taxa respiratória de 10 a 15%.

A análise de variância (Tabela 4) mostra que as diferenças encontradas entre as taxas de respiração das leveduras de panificação são devidas aos tratamentos (cepas), ao nível de 1% de probabilidade. Os valores da análise de variância para as taxas de fermentação das leveduras são exatamente os mesmos, pois essas taxas guardam relação de dependência entre si (Equações 9 e 10). Já o teste de Tukey indicou que as leveduras fabricadas no Brasil apresentaram taxas respiratórias maiores que as importadas, sendo os tratamentos diferentes ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4 - Análise de variância para a taxa de sacarose respirada e fermentada em mostos de cana por quatro diferentes cepas de levedura de panificação.**

CV	GL	SQ	QM	F	p
Tratamento	4	14,158	35,394	22,826**	p<0,01
Resíduo	10	15,506	1,551		
Total	14	157,084			

Os autores do presente trabalho partiram do pressuposto de que o gás carbônico produzido na fermentação dos mostos proveio fundamentalmente do metabolismo primário da levedura, isto é, dos processos fermentativo (anaeróbio) e respiratório (aeróbio) da levedura alcoólica. Se uma parcela do CO<sub>2</sub> produzido no processo fermentativo do presente trabalho proveio do metabolismo secundário da levedura, esta pode ser considerada negligenciável (LEHNINGER, 1988). Mas, vale à pena lembrar ainda que nem todo açúcar metabolizado pela levedura foi respirado e fermentado, havendo uma pequena parcela que foi usada para o crescimento celular, como bem informou Ingledew (2009), para quem 10% dos açúcares assimilados pela levedura alcoólica seguem o caminho do anabolismo.

Devido a sua simplicidade, o método proposto pode ser aplicado para finalidade didática (aulas práticas de cursos de graduação e pós-graduação envolvidos com a fermentação alcoólica), de pesquisa e até mesmo em empresas do setor sucroalcooleiro e de bebidas alcoólicas, interessadas em melhor conhecer as características metabólicas de seus fermentos.

#### 4 CONCLUSÃO

Dentro das condições em que este trabalho foi realizado podem se tirar as seguintes conclusões:

✓ Todas as leveduras de panificação apresentaram metabolismo respirofermentativos, conforme previsto na literatura especializada;

✓ O método estequiométrico empregado para estimar o metabolismo aeróbio e anaeróbio de leveduras

de panificação, por se basear no metabolismo primário desses microrganismos, pode ser considerado adequado para esse propósito.

## 6 AGRADECIMENTOS

FAPESP – processo 2011/05669-0.

## 7 REFERÊNCIAS

AIDOO, K. E.; ROB, N. M. J.; SARKAR, P. K. Occurrence and function of yeasts in Asian indigenous fermented foods. **FEMS Yeast Research**, Amsterdam, v. 6, p. 30-39, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005. 1018 p.

BRIGGS, D. E. et al. A. Metabolism of wort by yeast. In: \_\_\_\_\_. **Brewing: science and practice**. Cambridge: Woodhead, 2004. cap. 12, p. 401-468.

CASTRILLO, J. I.; UGALDE, U. O. A general model of yeast energy metabolism in aerobic chemostat culture. **Yeast**, Chichester, v. 10, p. 185-197, 1994.

CHAVAN, R. S.; JANA, A. Frozen dough for bread making – a review. **International Journal Food Science, Technology and Nutrition**, New York, v. 2, p. 9-27, 2008.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 2, p. 15-50.

FERNANDES, A. P. F. V. **Leveduras isoladas de produtos frutícolas: capacidade fermentativa e estudos sobre a H<sup>+</sup>-ATPase da membrana plasmática**. 2008. 201 f. Tese (Doutorado em Biologia/Microbiologia)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2008.

FIECHTER, A.; KÄPPELI, O.; MEUSSDOERFFER, F. Batch and continuous culture. In: ROSE, A. H.; HARRISON, J. S. (Ed.). **The yeast**. New York: Academic Press, 1987. v. 2, p. 99-129.

FRAENKEL, D. G. Carbohydrate metabolism. In: STRATHERN, J. N.; JONES, E. W.; BROACH, J. R. (Ed.). **The molecular biology of the yeast Saccharomyces: metabolism and gene expression**. New York: Cold Spring Harbor Laboratory, 1982. p. 1-37.

GANCEDO, C.; SERRANO, R. Energy-yielding metabolism. In: ROSE, A. H.; HARRISON, J. S. (Ed.).

**The yeast**. New York: Academic Press, 1989. v. 3, p. 205-259.

INGLEDEW, W. M. Yeast: physiology, nutrition and ethanol production. In: INGLEDEW, W. M. et al. **The alcohol textbook**. 5. ed. Nottingham: Nottingham University Press, 2009. cap. 9, p. 101-113.

KÄPPELI, O.; Regulation of carbon metabolism in *Saccharomyces cerevisiae* and related yeast. **Advances in Microbial Physiology**, Maryland Heights, v. 28, p. 181-208, 1986.

KOCKOVÁ-KRATOCHVÍLOVÁ, A. Yeast metabolism. In: \_\_\_\_\_. **Yeast and yeast-like organisms**. Weinheim: VCH, 1990. cap. 5, p. 304-390.

LEHNINGER, A. L. **Princípio de bioquímica**. São Paulo: Sarvier, 1988. 725 p.

MUNROE, J. H. Fermentation. In: HARDWICK, W. A. **Handbook of brewing**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 13, p. 323-353.

POITRENAUD, B. Baker's yeast. In: HUI, Y. H. et al. (Ed.). **Handbook of food and beverage fermentation technology**. New York: Marcel Dekker, 2004. cap. 39, p. 695-719.

RUSSELL, I. Yeast. In: PRIEST, F. G.; STEWART G. G. **Handbook of brewing**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006. cap. 8, p. 281-332.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7., 2009, Reno. **Proceedings...** St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. Disponível em: <<http://elibrary.asabe.org/azdez.asp?JID=1&AID=29066&CID=wcon2009&T=2>>. Acesso em: 7 Nov. 2012.

VENTURINI FILHO, W.G.; BRUNELLI, L.T.; TONIATO, J.; NOJIMOTO, T.; NOVAES, F.V. Método simples para quantificar o metabolismo aeróbio e anaeróbio de levedura alcoólica. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 31, n. 2, p. 227-236, 2013.

VIEIRA, S. **Análise de variância (ANOVA)**. São Paulo: Atlas, 2006. 204 p.