Proposições para Valorização de Resíduos do Processamento do Suco de Laranja

K. Rezzadori [a], S. Benedetti

a. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,
katita_rz@yahoo.com.br; silviabene@gmail.com

Resumo

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja. A maior parte da produção brasileira, concentrada no Estado de São Paulo, destina-se à indústria do suco. Um dos principais problemas enfrentados pelas indústrias processadoras de suco de laranja é o grande volume de resíduos sólidos e líquidos produzidos. Diante disso, o presente trabalho propõe alternativas para a minimização e valorização dos resíduos sólidos e líquidos gerados no processamento do suco, tendo como base uma grande empresa processadora do Estado de São Paulo. As alternativas foram propostas com base nas informações e dados da literatura e nos conceitos de Tecnologias Limpas.

Palavras-Chave: Aproveitamento de resíduos; casca de laranja; subprodutos.

1 Introdução

A industrialização de citros para a produção de sucos gera grandes quantidades de resíduos, que equivale a 50% do peso da fruta e tem uma umidade aproximada de 82%. Atualmente, os resíduos da laranja são utilizados principalmente como complemento para ração animal (ABECITRUS, 2008).

Há um interesse crescente no uso eficiente de diversos resíduos agroindustriais. Vários estudos têm proposto outros usos para os resíduos de laranja, incluindo a obtenção de fertilizantes orgânicos, pectina, óleos essenciais, compostos antioxidantes e como substratos para a produção de diversos compostos com alto valor agregado, tais como proteínas microbianas, ácidos orgânicos, etanol, enzimas e metabólitos secundários biologicamente ativos. Essas são excelentes alternativas para evitar a poluição do meio ambiente e agregar valor a essas substâncias até então tratadas como resíduos da indústria de processamento da laranja (ABECITRUS, 2008).

Devido à grande quantidade de resíduos de laranja gerados nas regiões produtoras e processadoras da fruta, esse trabalho tem por objetivo propor alternativas para o aproveitamento dos resíduos da indústria de processamento de suco de laranja, visando à agregação de valor a tais resíduos e a minimização do impacto ambiental causado pelo acúmulo destes no ambiente (ABECITRUS, 2008).

1.1 Cenário da produção de laranja no Brasil

O Brasil produz em torno de 53% da produção mundial de suco de laranja sendo responsável por 80% do comércio internacional desse produto. A laranja representa aproximadamente 49% da produção brasileira de frutas. Em 2007, a produção de

laranja foi de 18.500.478 t e no ano de 2008 a safra ultrapassou 18.580.908 t (IBGE, 2008). Dentre os estados brasileiros que mais se destacam na produção de cítricos estão São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Sergipe, Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás (ABECITRUS, 2008).

A maior parte da produção brasileira de laranjas destina-se à indústria de suco, concentrada no estado de São Paulo, sendo responsável por 70% das laranjas e 98% do suco que o Brasil produz. Em São Paulo, concentram-se as maiores empresas produtoras de suco de laranja do País representadas por indústrias de grande porte, com produção em grande escala (ABECITRUS, 2008).

1.2 Geração e aproveitamento de resíduos da laranja

A valorização de resíduos inicia com a caracterização dos mesmos, a casca da laranja contém 16,9% de açúcares solúveis, 9,21% de celulose, 10,5% de hemicelulose e 42,5% de pectina como o componente mais importante. Devido à sua composição rica em carboidratos solúveis e insolúveis, esse subproduto apresenta grande potencial para ser utilizado em produtos de alto valor agregado obtidos através da hidrólise química ou enzimática e posterior conversão biológica (RIVAS *et al*., 2008).

Os açúcares solúveis da casca de laranja são glicose, frutose e sacarose. Os polissacarídeos insolúveis da parede celular da casca de laranja são compostos de pectina, celulose e hemicelulose. A pectina e as hemiceluloses são ricas em ácido galacturônico, arabinose, galactose e pequenas quantidades de xilose, ramnose e glicose (GROHMANN *et al*., 1995).

Após a extração do suco, os resíduos sólidos da indústria da laranja, representados pelas cascas, sementes e polpas são geralmente transformados em farelo peletizado para ração animal. Dentre os despejos líquidos, a "água amarela" formada por proteínas, óleos essenciais, pectina, açúcares, ácidos orgânicos e sais, é o que mais preocupa, pelos seus altos índices de matéria orgânica, o que a torna um agente de alto potencial poluidor (TAVARES *et al*., 1998). Os subprodutos da indústria citrícola possuem valor comercial expressivo. Destacam-se os óleos essenciais da casca utilizados como insumos na indústria de alimentos, bebidas, cosméticos e perfumes; essências aromáticas obtidas na concentração do suco; d-limoneno empregado na fabricação de tintas e solventes, farelo de polpa cítrica destinado à produção de ração e polpa de laranja utilizada pelas indústrias de alimentos e bebidas (PEREIRA *et al*., 2008).

1.3 Alternativas para o reaproveitamento dos resíduos de laranja

Na busca de soluções alternativas para o problema do descarte de resíduos, muitas indústrias têm optado pelo uso de microrganismos como agentes redutores de matéria orgânica desses materiais ou para eliminação ou redução de compostos tóxicos. Resíduos de agroindústrias, como os das indústrias processadoras de sucos cítricos, têm sido utilizados como substrato para a produção de pectinases fúngicas, metano e para adsorção de corantes residuais (TAVARES *et al*., 1998). Esses resíduos também possuem alto valor energético, e podem contribuir para reduzir a dependência de energia comprada para geração de calor, vapor ou eletricidade. Apesar da ampla possibilidade de utilização, existem poucos trabalhos na literatura referindo-se ao uso de resíduos da agroindústria da laranja para fins energéticos, quer na forma como são gerados ou após a sua transformação. Antes de serem utilizados na geração de energia térmica, os resíduos sólidos da laranja podem ser convertidos a carvão vegetal e aos subprodutos da carbonização, o que ampliaria seus usos e, ao mesmo tempo, facilitaria seu transporte, armazenamento e manuseio (TIENNE *et al*., 2004).

Outra alternativa bastante rentável para os resíduos da laranja é a extração de óleos essenciais. Os óleos essenciais são óleos voláteis que são retirados das cascas das frutas cítricas e têm aplicações variadas nas indústrias farmacêutica e alimentícia. O d-limoneno é uma fração oleosa, sendo considerada uma das fontes mais puras de terpeno monocíclico (CORAZZA *et al*., 2001). O óleo de sementes de citrus é composto basicamente por triacilgliceróis e, em menor quantidade, por ácidos graxos livres, hidrocarbonetos, esteróis e matéria não-gordurosa como limonina e naringina. Estes óleos podem apresentar compostos com atividade biológica, como limonóides e seus glicosídeos, que causaram a inibição de tumores cancerígenos induzidos em ratos, camundongos e ramsters (REDA *et al*., 2005).

O farelo de polpa cítrica ou farelo de casca de laranja é outro subproduto de grande importância. Este farelo é obtido por meio do tratamento de resíduos sólidos e líquidos remanescentes da extração do suco. O farelo de polpa cítrica peletizado é utilizado como complemento de ração animal na pecuária, tendo boa aceitação como insumo na ração de bovinos (CORAZZA *et al*., 2001). O uso de resíduos industriais de frutos cítricos na dieta animal evidencia a importância das fibras na manutenção da motilidade ruminal e no estímulo à ruminação.No entanto, esta fibra deve estar na forma adequada. É enfatizado que o uso de fibras na alimentação humana tem sido correlacionado com a prevenção de muitas doenças (MENDONÇA *et al*., 2006).

2 Metodologia

Os dados quantitativos dos resíduos gerados pela indústria processadora de suco de laranja foram retirados da literatura e de informações fornecidas por uma indústria da região.

O enfoque da análise do problema da geração de resíduos foi o Estado de São Paulo, onde há maior produção e processamento de laranja do país. Este estudo teve como base uma indústria processadora de suco de laranja de grande porte, com processamento diário de aproximadamente 16.000 t, sendo a maior fábrica de suco concentrado do mundo.

Foram elaborados sistemas propondo alternativas para o aproveitamento dos resíduos sólidos e líquidos da indústria processadora de suco.

3 Resultados e Discussão

As alternativas são apresentadas na forma de sistemas para o aproveitamento dos resíduos da indústria de suco de laranja.

- **Sistema 1:** resíduos sólidos e líquidos, não tratados, são liberados ao solo e mananciais. A Fig. 2 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

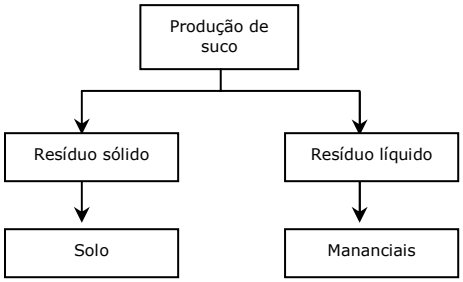

Fig. 2 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 1

O sistema 1 é um sistema que, teoricamente, inexiste na indústria de processamento de sucos, uma vez que a Legislação Ambiental não permite que os resíduos sejam liberados no ambiente sem tratamento prévio. Em alguns casos, por imprudência, podem ocorrer casos isolados em que os resíduos são lançados no ambiente fora dos parâmetros estabelecidos por Lei.

A indústria analisada nesse caso processa 16.000 t de laranja/dia e segundo dados da literatura, os resíduos correspondem a 50% dessa quantidade. Portanto são gerados em torno de 8.000 t de resíduos sólidos e líquidos. Arbitrando que o resíduo líquido ("água amarela") corresponda a 0,5 % em peso do resíduo total da laranja, são gerados 40 t de resíduos líquidos e 7960 t de resíduos sólidos diariamente.

- **Sistema 2:** produção de ingrediente para ração é uma aplicação tradicional mundialmente utilizada para os resíduos sólidos da indústria processadora de laranja. Os resíduos líquidos seguem para a estação de tratamento de efluentes até atingir os padrões exigidos pela Legislação Ambiental. A Fig. 3 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.
-

Esse sistema reúne o procedimento mais utilizado nas indústrias processadoras da laranja com relação ao destino dos resíduos. A maioria das indústrias aproveita quase que integralmente os resíduos gerados no processo industrial para a fabricação de ração animal. Nas regiões de grande disponibilidade de citros, o aproveitamento dos resíduos para a fabricação de ração pode ser uma alternativa para se contornar a qualidade e redução da oferta de forragens e grãos (MOREIRA et al., 2004).

Os resíduos líquidos (água amarela) constituídos por proteínas, óleos essenciais, pectinas, açúcares, ácidos orgânicos e sais são os que mais preocupam pelos seus altos índices de matéria orgânica, o que os tornam um agente de alto potencial poluidor. Por possuir elevada carga orgânica, esses resíduos são submetidos a um sistema de tratamento biológico de efluentes (TAVARES et al., 1998).

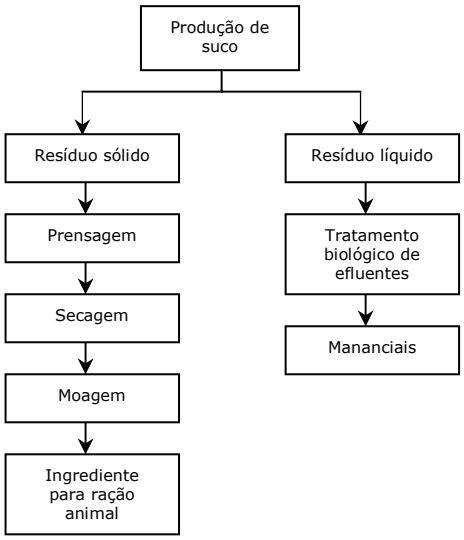

Fig. 3 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 2

A ração animal pode ter no máximo 15 % de umidade. Considerando que a ração produzida a partir desse resíduo tenha 12 % de umidade, das 7960 t de resíduos sólidos são obtidas 2388 t de farelo por dia, utilizado como ingrediente

para ração animal. Da mesma forma que no sistema 1, são geradas 40 t de "água amarela" por dia.

- **Sistema 3**: os resíduos sólidos, após a desidratação, são utilizados para a produção de carvão vegetal. A Fig. 4 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

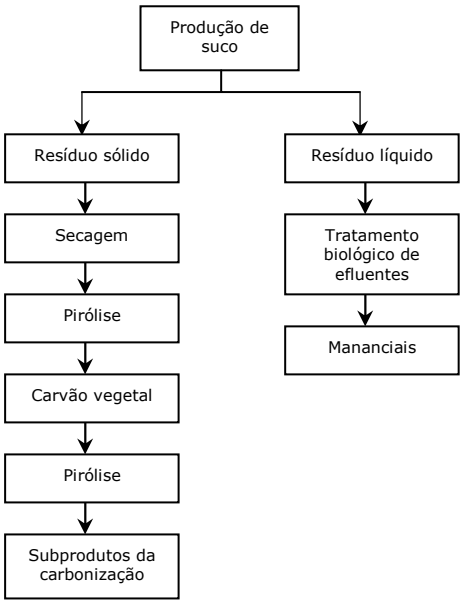

Fig. 4 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 3

Os resíduos sólidos provenientes do processamento da laranja possuem valor energético considerável, podendo ser utilizados para a fabricação de carvão vegetal. Os subprodutos da carbonização possivelmente encontrariam uma larga aplicação nos cultivos orgânicos, na preservação da madeira, na fabricação de adesivos, na indústria alimentícia, entre outros. Além disso, é viável a pirólise de casca de laranja, com ou sem bagaço, tendo por base os rendimentos gravimétricos médios em carvão e em carbono obtidos (TIENNE et al., 2004). Os resíduos líquidos são submetidos a um sistema de tratamento biológico de efluentes, sendo a forma mais convencional de redução do impacto ambiental causados por esse resíduo.

Arbitrando que o carvão possua 7 % de umidade, obtêm-se 537,3 t de carvão e 145 t de subprodutos de carbonização, a partir das 7960 t de resíduo sólido. Da mesma forma que nos sistemas anteriores, são geradas 40 t de "água amarela" por dia.

- **Sistema 4:** as fibras alimentares da casca de laranja podem ser produzidas a partir dos resíduos sólidos provenientes da indústria processadora de laranja, envolvendo baixos custos de produção. A Fig. 5 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

Entre as muitas fontes de fibras dietéticas, os subprodutos cítricos têm alto potencial de uso. Muito interesse tem sido mostrado na utilização de fibra da casca e membranas desidratadas. A polpa lavada mostrou ser uma boa fonte de fibras dietéticas solúveis e insolúveis e ter propriedades funcionais únicas, permitindo o uso como ingredientes em alimentos, pois possuem funções tecnológicas e propriedades funcionais. Os resíduos líquidos são tratados da mesma forma que no Sistema 3.

O resíduo da laranja possui aproximadamente 80 % de fibra em base úmida. Considerando que a após a secagem, a fibra apresente 7 % de umidade em base seca, obtêm-se 1592 t de fibra a partir do resíduo sólido. Da mesma forma que nos sistemas anteriores, são geradas 40 t de "água amarela" por dia.

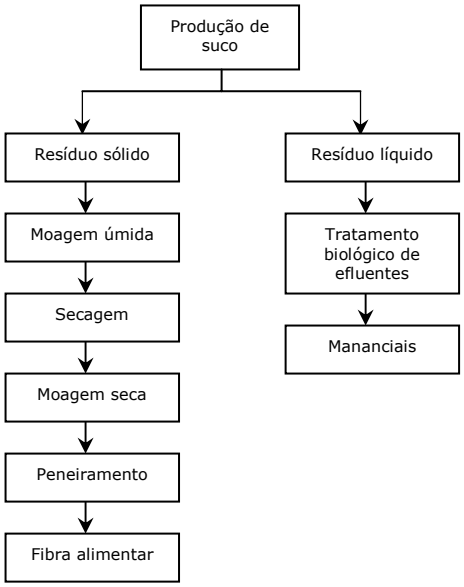

Fig. 5 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 4

- **Sistema 5:** o resíduo sólido é hidrolisado por enzimas pectinolíticas, celulolíticas e hemicelulolíticas, retornando ao processo de produção do suco para melhorar as suas propriedades sensoriais como sabor e aroma. O resíduo líquido é rico em proteínas, óleos essenciais, pectinas, açúcares e ácidos orgânicos, constituindo um ótimo substrato para a produção de enzimas e alguns tipos de ácidos, através de fermentação submersa. A Fig. 6 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

A hidrólise enzimática dos resíduos da laranja utilizando enzimas libera celulose, ácidos urônicos da pectina, arabinose, ramnose, galactose e xilose. O extrato enzimático proveniente dessa hidrólise pode ser reintroduzido no processamento do suco para aumentar o rendimento e melhorar as características sensoriais.

Em relação ao aproveitamento do resíduo líquido, esse sistema proposto apresenta uma vantagem em relação aos sistemas anteriores. Considerando sua elevada carga orgânica, este pode ser utilizado como substrato para o cultivo de microrganismos, permitindo a bioconversão do substrato residual em biomassa microbiana, a qual tem servido para a extração de proteínas, lipídios e ácidos nucléicos, além do aproveitamento de compostos como ácidos orgânicos, vitaminas e enzimas excretadas pelo microrganismo.

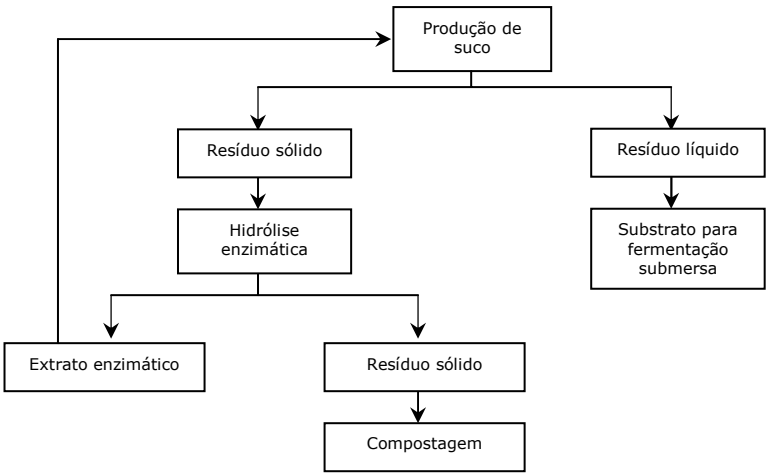

Fig. 6 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 5

Tavares et al., (1998) avaliaram a possibilidade de utilização da água amarela como componente do meio de cultura para o crescimento de *Penicillium citrinum*, visando a associação entre a redução da DQO e a produção de ribonuclease RNase P1. Essa enzima tem sido explorada comercialmente para obtenção de nucleotídeos de sabor (5'-GMP e 5'-IMP) adicionados a condimentos e a alimentos pré-preparados. Os autores também relataram que o emprego da água amarela, suplementada com nutrientes minerais, indicaram uma influência positiva no crescimento fúngico, na produção de enzimas e na redução da DQO.

Na literatura, não constam trabalhos que tenham dados referentes ao rendimento de extrato enzimático obtido a partir da hidrólise da casca de laranja. Isso impede que seja realizado um balanço de massa para posterior análise da viabilidade econômica e ambiental da implantação desse sistema.

- **Sistema 6**: o resíduo sólido é utilizado para a extração de óleos essenciais. Da extração do óleo essencial, restam resíduos sólidos que são reaproveitados para a obtenção de fibras celulolíticas, que poderão ser utilizadas como suporte para a fermentação semi-sólida. Os resíduos líquidos serão utilizados como substrato juntamente com as fibras para produção de enzimas por fermentação semi-sólida. A Fig. 7 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

A produção de óleo essencial a partir de casca de laranja é economicamente viável, uma vez que este subproduto possui alto valor agregado. Esses óleos têm maior aplicação nas indústrias alimentícia e farmacêutica. Podem ser usados diretamente como saborizantes em alimentos e bebidas, na fabricação de medicamentos, cosméticos e produtos de limpeza.

De acordo com dados da literatura, a laranja contém 1, 79 % de óleos essenciais. Nesse caso, da quantidade total de resíduos sólidos gerados na produção do suco e considerando um processo de extração com 40% de eficiência, são obtidas aproximadamente 57 t de óleos essenciais.

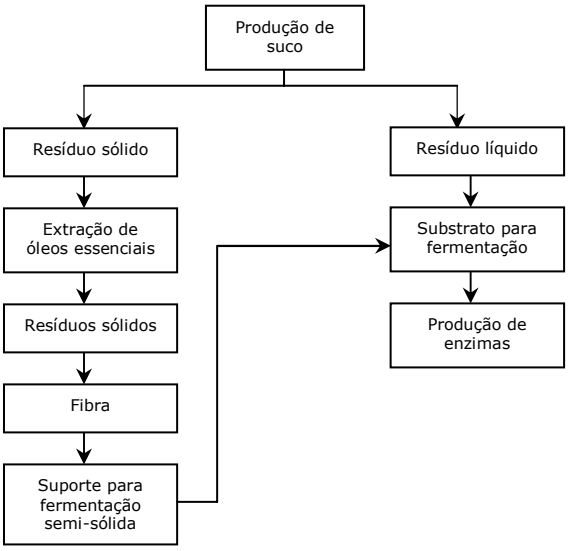

Fig.7 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 6

Da extração de óleos essenciais ainda restam aproximadamente 7817 t de resíduos sólidos. Esses resíduos são desidratados para a produção de fibra, que possui rendimento de 2344 t. Essa fibra será utilizada como suporte para fermentação em estado semi-sólido, juntamente com as 40 t de resíduo líquido geradas no processamento da laranja.

- **Sistema 7:** a pectina é uma fibra solúvel que pode ser obtida a partir dos resíduos do processamento de laranja. Possui ampla aplicação na indústria de alimentos como agente gelificante. A produção de ração é feita a partir de resíduos provenientes da extração de pectina. O resíduo líquido pré-esterilizado é utilizado como meio de cultivo em processos biotecnológicos em fermentação submersa. A Fig. 8 apresenta o fluxograma com as alternativas propostas nesse sistema.

Apesar do alto valor agregado da pectina, o custo para a implantação de uma planta de extração é elevado, devido ao grande investimento em equipamentos.

A produção de pectina a partir dos resíduos do processamento de suco de laranja possui um rendimento aproximado de 16% em base seca. Sendo que diariamente são gerados 8000 t de resíduos, que estes sejam submetidos à secagem até atingir 10% de umidade e que o rendimento na extração de pectina seja em torno de 30%, obtêm-se aproximadamente 107 t de pectina. O resíduo sólido restante é encaminhado para compostagem.

O resíduo líquido gerado, aproximadamente 40 t de "água amarela", é esterilizado e utilizado como meio de cultivo para fermentação submersa.

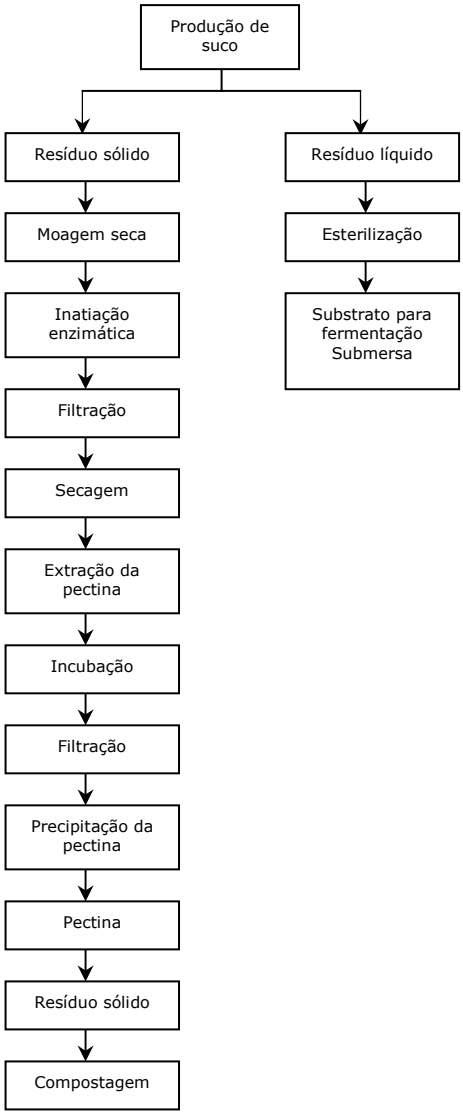

Fig.8 Fluxograma das alternativas apresentadas no Sistema 7

O Quadro 1 reúne as informações sobre as operações envolvidas, propósito dos sistemas, benefício econômico, ambiental e investimento envolvido estimado para os sistemas apresentados.

Quadro 1 Sistemas para o processamento de resíduos da indústria de suco de laranja

Sistemas	Resíduo Sólido original	Resíduo líquido original	Resíduo Sólido	Operações Envolvidas											
				Lodo ativado	Prensa-gem	Moa-gem	Seca-gem	Pirólise	Compos-tagem	Peneira-mento	Hidró-lise	Fermen-tação	Filtração	Extra-ção	Precipi-tação
1	x	x													
2	x	x		x	x	x	x								
3	x	x	x	x			x	x							
4	x	x		x		x	x			x					
5	x	x	x						x		x	x			
6	x	x	x									x		x	
7	x	x	x			x						x	x	x	x

Continuação quadro 1:

Sistemas	Propósito											Benefício econômico	Benefício ambiental	Investi-mento envolvido
	Disposição sem tratamento	Solo	Mananciais	Ingrediente para ração animal	Carvão vegetal	Fibra	Extrato enzimático	Produção de enzimas	Suporte para fermentação	Óleo essencial	Pectina			
1	x	x	x									L	L	L
2			x	x								L	M	L
3		x	x		x							M	L	L
4			x			x						M	M	M
5		x					x	x	x			H	H	M
6						x		x	x	x		H	H	H
7						x					x	H	H	H

Legenda

Benefício econômico:

Baixo: L ≤ custo do tratamento convencional de resíduos
Médio: M ≤ 5 x custo do tratamento convencional de resíduos
Alto: H ≥ 5 x custo do tratamento convencional de resíduos

Benefício ambiental:

Baixo: L ≤ , valores dos parâmetros de avaliação ambiental são reduzidos em até 60%
Médio: M ≤ valores dos parâmetros de avaliação ambiental são reduzidos em até 90%
Alto: H ≥ valores dos parâmetros de avaliação ambiental são reduzidos acima de 90%

Investimento envolvido:

Baixo: L ≤ , investimento na instalação do sistema de até US$ 500.000,00
Médio: M ≤ investimento na instalação do sistema acima de US$ 500.000,00
Alto: H ≥ investimento na instalação do sistema acima de US$ 1.000.000,00

Uma vez que alguns dos sistemas não são apresentados rotineiramente pelas indústrias, os dados foram simulados com base em pesquisas na literatura.

4 Conclusão

Os sistemas propostos para a minimização e valorização dos resíduos provenientes da indústria de processamento de suco de laranja são boas alternativas para a redução do impacto ambiental bem como a obtenção de produtos com alto valor agregado, gerando benefícios ambientais e econômicos para a empresa.

Para a seleção do sistema com maior viabilidade de implantação pelas indústrias processadoras de suco, será realizada posteriormente uma avaliação dos custos e benefícios inseridos na adoção da estratégia desenvolvida.

5 Referências

Abecitrus, História da Laranja e Subprodutos da Laranja, http://www.abecitrus.com.br/, acessado em Agosto/2008.

Corazza, M. L; Rodrigues, D. G; Nozaki, J., 2001. Preparação e caracterização do vinho de laranja, Revista Química Nova. 24, 449-452.

Grohmann, K; Cameron, R. G; Buslig, B. S., 1995. Fractionation and pretreatment of orange peel by dilute acid hydrolysis, Bioresource Technology. 54, 129-141.

IBGE, Censo Agropecuário 2006, http://www.ibge.gov.br/home/mapasite/mapasite.php#download, acessado em Agosto/ 2008.

Mendonça, L.M.V.; Conceição, A.; Piedade, J.; Carvalho, V.D.;Theodoro, V.C.A, 2006. Caracterização da composição química e do rendimento dos resíduos industriais do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka), Ciência e Tecnologia de Alimentos. 26, 870-874.

Moreira, P.S.; Reis, R.B.; Lana, A.M.Q.; et al., 2004. Produção e Composição do Leite de Vacas Alimentadas com Polpa Cítrica em Substituição ao Milho, Anais da Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. 41.

Oliveira, L.F.; Nascimento, M.R.F.; Borges, S.V, 2002. Aproveitamento Alternativo da casca do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. Flavicarpa) para a produção de doce em calda. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos.22, 259-262.

Pereira, C. L. F. Avaliação da sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais. estudo de caso: suco de laranja e etanol, 2008. Dissertação de mestrado, UNICAMP.

Reda, S. Y; Leal, E.S; Batista, E.A.C., Barana, A.C., Schnitzel, E., Carneiro, P, I, B., 2005. Caracterização dos óleos das sementes de limão rosa (*Citrus limonia Osbeck*) e limão siciliano (*Citrus limonon*), um resíduo agroindustrial. Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos. 25, 672-676.

Rivas, B.;Torrado, A.;Torres,P.;Converti, A.;Dominguéx, J.M., 2008. Submerged Citric Acid Fermentation on Orange Peel Autohydrolysate, Journal of Agricultural and Food Chemistry.56.

Tavares, V. B; Siviéri, K; Ceron, C. R; Silva, R; Trabuco, E., 1998. Utilização de resíduo líquido de industria de processamento de suco de laranja como meio de cultura de *Penicillium citrinum* : depuração biológica do resíduo e produção de enzima. Revista Química Nova. 21, 722-725.

Tienne, L; Deschamps, M. C; Andrade, A. M., 2004. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço de laranja (*Citrus sinensis*), Revista Biomassa e Energia. 1, 191-197.