

## **OPORTUNIDADES DE INOVAÇÃO NO SETOR SUCROENERGÉTICO**

**DANIELLA FARTES DOS SANTOS E SILVA**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
daniella.fartes@hotmail.com

**JOSÉ VITOR BOMTEMPO**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
vitor@eq.ufrj.br

**FLÁVIA CHAVES ALVES**

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
falves@eq.ufrj.br

### **RESUMO**

O desenvolvimento da indústria de cana-de-açúcar no Brasil começou desde o período de colonização, no entanto foi em 1975 com o do programa nacional do álcool (PROÁLCOOL) que a produção de etanol no país foi intensificada, fazendo sua produtividade quintuplicar nos cinco anos seguintes. Desde então o setor evoluiu atingindo o estágio de uma indústria aparentemente madura se for considerado o avanço industrial em produtividade, no qual o aumento está limitado a apenas 4%. Apesar da aparente estagnação das rotas atuais de conversão do açúcar em etanol, estudos mostram que o potencial energético da cana-de-açúcar não é totalmente aproveitado pelas usinas, em uma análise simplificada pode-se dizer que apenas 1/3 da energia da cana está concentrada no caldo, os outros 2/3 estão retidos no bagaço e na palha. A grande produção de biomassa com alto potencial energético abre espaço para diversas oportunidades de inovação dentro do setor sucroenergético. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi identificar e analisar as oportunidades de inovação do setor sucroenergético e seus principais fatores impulsionadores e inibidores através da ótica de especialistas das áreas de pesquisa, política e indústria do setor. Para isso foi utilizada uma metodologia de entrevistas focalizadas com 17 especialistas do setor sucroenergético escolhidos com o auxílio da abordagem de sistemas setoriais de inovação. Dentre os principais resultados encontrados, foi identificado que as principais barreiras para o aproveitamento dessas oportunidades são de origem tecnológica, política e organizacional. A oportunidade de inovação que se apresentou mais próxima de ser implantada pelas usinas foi a produção de etanol de segunda geração. A oportunidade que apresentou maior potencial de transformar a estrutura do setor, mas também a com maior quantidade de barreiras a serem superadas foi a produção de químicos a partir da biomassa da cana-de-açúcar através de rotas bioquímicas.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria sucroalcooleira no Brasil se consolidou na década de 80 impulsionada pelo Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL). Desde então, houve grande evolução na produtividade da cana-de-açúcar e nos processos de produção de açúcar e etanol. Embora seja reconhecido que ainda existem oportunidades expressivas de inovação na parte agrícola, o setor costuma ser considerado maduro na transformação industrial da cana de açúcar. De acordo com Nogueira (2008), o aumento de produtividade industrial estaria limitado a apenas 4%.

Apesar da aparente estagnação das rotas atuais de conversão do açúcar em etanol, estudos mostram que o potencial energético da cana-de-açúcar não é totalmente aproveitado pelas

usinas. De forma simplificada pode-se dizer que apenas 1/3 da energia da cana está concentrada no caldo, os outros 2/3 estão retidos no bagaço e na palha (FURLAN *et al.*, 2013; OGEDA & PETRI, 2010; CANILHA *et al.*, 2012). Isso significa que apesar da maturidade do processo de conversão do caldo da cana-de-açúcar em etanol, diversas outras oportunidades de inovação surgem em paralelo a esse processo. No entanto, muitas dessas oportunidades parecem não ser amplamente percebidas pelas empresas no setor, mais dispostas a investir em inovações incrementais de processo do que em inovações radicais.

A grande produção de biomassa com alto potencial energético é apenas uma das oportunidades de inovação que surgem no setor de etanol brasileiro. Atualmente as usinas sucroenergéticas já utilizam o bagaço da cana para a cogeração e comercializam o excedente de energia. A vinhaça, outro subproduto produzido em grandes quantidades, é utilizada para fertirrigação. No entanto, várias outras oportunidades surgem no contexto do setor sucroenergético, como a produção do etanol de segunda geração (etanol 2G), a produção do biogás a partir da vinhaça, a gaseificação da biomassa, a produção de intermediários químicos renováveis, entre outras. Alguns autores identificam o surgimento de uma nova indústria baseada no conceito de bioeconomia a qual traria desafios e oportunidades para os incumbentes e também para novos atores (BOMTEMPO & ALVES, 2014).

Apesar das inúmeras oportunidades de inovação que aparecem no setor sucroenergético, a questão tecnológica é apenas um dos requisitos necessários para que essas oportunidades definitivamente se transformem em inovação. Malerba (2006) ressalta a importância da troca de informação entre diferentes atores do setor, como as empresas, as universidades, os centros de pesquisa, as agências governamentais, os fornecedores e consumidores. Na abordagem de Sistema Setorial de Inovação (SSI), o desempenho inovador de um determinado setor não pode ser atingido, com base apenas nos esforços e conquistas das empresas individualmente. Pelo contrário, a inovação é um processo que resulta da interação de atores de uma mesma, ou de diferentes naturezas institucionais (FURTADO *et al.*, 2010).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi identificar e analisar as oportunidades de inovação do setor sucroenergético e seus principais fatores impulsionadores e inibidores através da ótica de especialistas do setor das áreas de pesquisa, política e indústria.

Além desta introdução, esse trabalho está dividido em mais 4 seções. A segunda seção aborda uma revisão bibliográfica, focando principalmente no conceito de sistema setorial de inovação. Em seguida, a terceira seção apresenta a metodologia onde será explicado como foram realizadas as entrevistas e a análise dos resultados. A discussão dos resultados vem a seguir, divididos em 6 oportunidades de inovação que foram analisadas pela ótica de agentes do setor e, por fim, as conclusões do trabalho serão apresentadas na quinta seção.

## REVISÃO DA LITERATURA

### Sistema Setorial de Inovação

Existem diversas tentativas de mensurar a inovação. Investimento em P&D e patentes registradas são exemplos de medidas que têm sido usadas como indicadores de inovação. No entanto, a análise sobre muitas das medidas é feita tomando como parâmetro uma única empresa.

De acordo com Malerba (2006), tentar compreender a inovação através de ações como: focar em uma empresa como o ator principal da inovação, considerar como únicas fontes de inovação o *learning-by-doing* ou P&D, considerar o sistema de patentes e agências de incentivos públicos

como as únicas instituições relevantes para o processo de inovação, leva o estudioso a capturar apenas parte desse processo.

Dessa forma, foi escolhida para esse estudo a abordagem de Sistema Setorial de Inovação. Nesta abordagem, o desempenho inovador de um determinado setor não pode ser analisado focando os esforços e conquistas das empresas individualmente. Pelo contrário, a inovação é um processo que resulta da interação de atores de uma mesma, ou de diferentes naturezas institucionais (FURTADO *et al.*, 2010).

Um dos primeiros estudiosos a propor a definição de Sistemas de Inovação (SI) foi Lundvall em 1992, em seu livro *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*, onde definiu o SI como um conjunto de componentes discretos e a relação entre eles. Para o autor, duas dimensões se destacam na definição de um SI, as estruturas de produção, isto é, tanto organizações e instituições envolvidas em pesquisa e desenvolvimento como também atividades rotineiras de produção, distribuição e consumo; e a definição institucional, que inclui todos os aspectos da estrutura econômica e prática institucional que afetam a aprendizagem. A abordagem de Lundvall (1992) reconheceu que a organização dos SI é influenciada por fatores econômicos, políticos e culturais que ajudam a determinar a escala, direção e sucesso de todas as atividades de inovação.

Buscando entender as especificidades de um setor, Malerba e Orsenigo (1996) introduziram o conceito de Sistema Setorial de Inovação, cuja análise se baseia na ideia de que diferentes setores operam em diferentes regimes tecnológicos. Pela definição de Malerba (2006), um setor é um conjunto de atividades que são unificadas por alguns grupos de produtos direcionados para uma determinada ou emergente demanda e que compartilham algum conhecimento comum. Empresas de um setor têm ao mesmo tempo pontos em comum e pontos heterogêneos. Assim, na abordagem de sistema setorial, a inovação é considerada como um processo que envolve interações sistemáticas entre uma grande variedade de atores para a geração e troca de conhecimentos relevantes para a inovação e sua comercialização.

De modo a aprofundar os estudos sobre SSI, Malerba (2006) define que a estrutura da abordagem por sistemas setoriais se concentra em três dimensões principais dos setores:

- **Conhecimento e Domínio Tecnológico:** Essa dimensão é essencial para delimitar o setor, uma vez que qualquer setor pode ser caracterizado por uma base específica de conhecimento.
- **Atores e Redes:** Caracteriza o setor uma vez que reúne todos os seus agentes. Esses agentes podem ser pessoas ou organizações. E ainda essas organizações podem ser empresas ou outras instituições, como universidades, instituições financeiras e agências governamentais. Essas organizações também podem ser partes da empresa, como departamentos de P&D e produção. Esses atores são caracterizados por específicos processos de aprendizado, competências, crenças, objetivos, estruturas organizacionais e comportamentos que interagem através de processos de comunicação, troca, cooperação, competição e comando.
- **Instituições:** As *institutions* incluem normas, rotinas, hábitos comuns, práticas estabelecidas, regras, leis, padrões, entre outros. As interações entre os agentes são moldadas pelas instituições.

Dentre essas três, a dimensão *atores e redes* é a mais dinâmica uma vez que envolve múltiplas relações ocorrendo simultaneamente e em diferentes níveis de organizações, sendo assim, um ponto crítico e importante de ser analisado para verificar a eficiência no processo de inovação.

## Sistema Setorial de Inovação – O Setor Sucroenergético

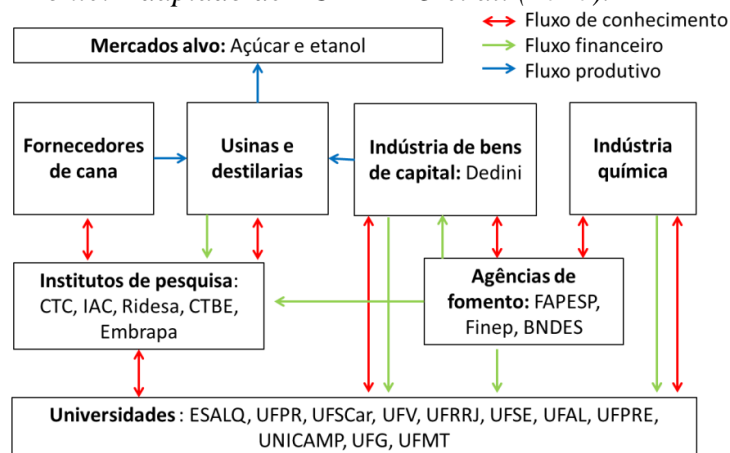
Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se transformou em umas das principais culturas da economia brasileira, se destacando pela produção de açúcar e de etanol. Particularmente esta segunda foi alavancada em 1975 com a criação do PROÁLCOOL, que visava obter uma alternativa aos elevados preços dos combustíveis importados diante da crise do petróleo de 1973 e 1979. Desde então o setor evoluiu atingindo o estágio de uma indústria madura, considerando principalmente o avanço industrial em produtividade.

Pode-se dizer que o PROÁLCOOL foi o principal marco no desenvolvimento do mercado de biocombustíveis no Brasil e também para a estruturação do Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro (SPIS). Foi através dele que o setor recebeu incentivos à produção de etanol, cedendo créditos com juros negativos, para a modernização, ampliação e construção de novas usinas e também para plantação de novas lavouras (VERGES, 2013).

Na Figura 1 estão representados os principais agentes que compõe o SPIS da cana-de-açúcar atualmente, bem como os fluxos produtivos, de conhecimento e financeiros. No estudo de Furtado *et al.* (2010), é destacada a grande importância da pesquisa agrícola dentro do sistema. Tanto as instituições de pesquisa, quanto as universidades têm um forte direcionamento para o aumento da produtividade no campo, gerando novas variedades, mais produtivas e resistentes a doenças.

Figura 1: Organização do sistema de inovação sucroalcooleiro de primeira geração.

Fonte: Adaptado de FURTADO *et al.* (2010).



De acordo com Verges (2013), a maneira como esse sistema é organizado favorece a melhora incremental do processo produtivo, em detrimento das inovações radicais. Segundo o autor isso é notado pela pequena importância das *start-ups* dentro do sistema que caracteriza a primeira geração de biocombustíveis. O autor mostrou também que a partir de 2000, mudanças institucionais, regulatórias e competitivas vêm mudando a configuração do setor, o que leva o SPIS a um processo de transição, nas quais os agentes são incentivados a acumular competências em áreas fora do escopo tradicional exigido pelas características do setor sucroenergético.

Diante de um cenário de mudança no SPIS sucroenergético a análise sobre as oportunidades de inovação envolvendo agentes do SPIS, e possíveis novos agentes, torna-se ainda mais relevante. Na próxima seção será descrita a metodologia utilizada para a identificação das oportunidades exploradas neste artigo, desenvolvimento das entrevistas com os especialistas, e, por fim, a forma de análise das oportunidades.

## METODOLOGIA

A principal fonte de informação para realização deste trabalho foi proveniente de entrevistas realizadas com 17 especialistas das áreas de pesquisa (7), indústria (7) e política (3) do setor sucroenergético. A metodologia utilizada foi através de entrevistas focalizadas, também chamadas de semiestruturadas, que tiveram como objetivo identificar e analisar diferentes oportunidades de inovação no setor.

A realização do trabalho foi feita conforme o esquema da Figura 2:

*Figura 2: Etapas da metodologia*  
 Fonte: Elaboração própria



Primeiramente foi decidido concentrar a análise na parte industrial do processamento da cana-de-açúcar<sup>1</sup>. Neste sentido, foram utilizados dois critérios para a escolha dos grupos de oportunidades: estarem relacionadas ao processo tradicional de produção de etanol (também chamado de primeira geração) e seus principais resíduos ou estarem contempladas no Plano Conjunto BNDES - Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico – PAISS.

O primeiro critério considerou o próprio processo de primeira geração e a destinação de seus dois principais resíduos: o bagaço, que em geral é destinado para o processo de cogeração de energia, e a vinhaça que é geralmente utilizada nos processos de fertirrigação. O segundo critério levou em conta as linhas temáticas do PAISS: Etanol de Segunda Geração, Novos Produtos da Cana-de-Açúcar e Gaseificação. A partir dos critérios mencionados, foram escolhidos seis grupos de oportunidades, como mostrado na Figura 3.

*Figura 3: Oportunidades de Inovação no Setor Sucroenergético.*  
 Fonte: Elaboração própria



<sup>1</sup> Essa decisão se deu principalmente pelas opiniões controversas sobre o potencial do processo de primeira geração. A vertente que defende o esgotamento das tecnologias sucroenergéticas se baseia no desempenho alcançado pelas usinas em séculos de desenvolvimento, que quase atingem o máximo teórico. No entanto, as perspectivas relacionadas à utilização dos resíduos agroindustriais aumentam consideravelmente o potencial inovador concentrado nas usinas.

A escolha dos entrevistados se baseou principalmente estrutura do SI desenvolvida no trabalho de Furtado *et al.* (2010), para identificar os agentes mais importantes do setor. Quando se buscou os especialistas da área da política, o foco foi voltado para profissionais de agências de apoio ao desenvolvimento e inovação, como BNDES e Finep. Os especialistas da pesquisa foram procurados principalmente em universidades públicas com relevantes grupos de pesquisa envolvidos em estudar essas oportunidades de inovação e nos principais centros de pesquisa do setor como o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE). Para os especialistas da indústria focaram-se principalmente nas maiores e mais inovadoras empresas do setor e empresas fornecedoras de equipamentos.

A duração de cada entrevista foi determinada somente pelo tempo mínimo de 30 minutos. O tempo máximo não foi determinado uma vez que era interessante para o trabalho extrair o máximo de informação de cada entrevistado, de forma que a duração total da entrevista era principalmente função da disponibilidade do entrevistado. As entrevistas tiveram duração média de uma hora, sendo a mais rápida de 35 minutos e a mais longa de 2 horas e 22 minutos.

Com a contextualização de cada uma das oportunidades e a opinião dos especialistas, foi possível identificar quais os principais fatores impulsionadores e inibidores de cada oportunidade de inovação. Detectados esses fatores, eles foram classificados em 6 categorias:

- **Custo:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com aumento/diminuição dos custos para uma empresa do setor;
- **Tecnológico:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com oportunidades/dificuldades tecnológicas, isto é, ainda existe, e se faz necessária, muita pesquisa em torno do tema;
- **Ambiental:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com questões ambientais;
- **Organizacional:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com características organizacionais ou até mesmo gerenciais das empresas do setor;
- **Político:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com medidas da esfera política;
- **Externo:** Se o fator (impulsionador ou inibidor) está relacionado com características externas ao setor, isto é, não pode ser controlado pelo setor, e não faz parte de nenhuma das categorias anteriores.

É importante salientar que muitos fatores podem conter características de mais de uma dessas categorias ao mesmo tempo. No entanto, a classificação foi feita levando em consideração a forma como o fator foi abordado pela maioria dos entrevistados.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção se dedicará a analisar as seis oportunidades de inovação na seguinte ordem: cogeração e venda da bioeletricidade da cana-de-açúcar, etanol de segunda geração, produção de biogás a partir da vinhaça, oportunidades no processo de primeira geração, gaseificação e novos produtos. O foco da análise recairá sobre os principais fatores responsáveis por impulsionar ou inibir cada uma das oportunidades de acordo com as opiniões expressas pelos especialistas entrevistados.

### Cogeração e Venda da Bioeletricidade.

O setor sucroenergético se desenvolveu de forma a ser autossuficiente em energia. A disponibilidade de uma grande quantidade de bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo de difícil

armazenagem, favoreceu a estrutura que se tem hoje de queima do bagaço para sustentar energeticamente a usina. Com a melhoria da eficiência energética desse processo, surge a oportunidade de agregar a energia elétrica da cana, ou bioeletricidade, aos produtos das usinas.

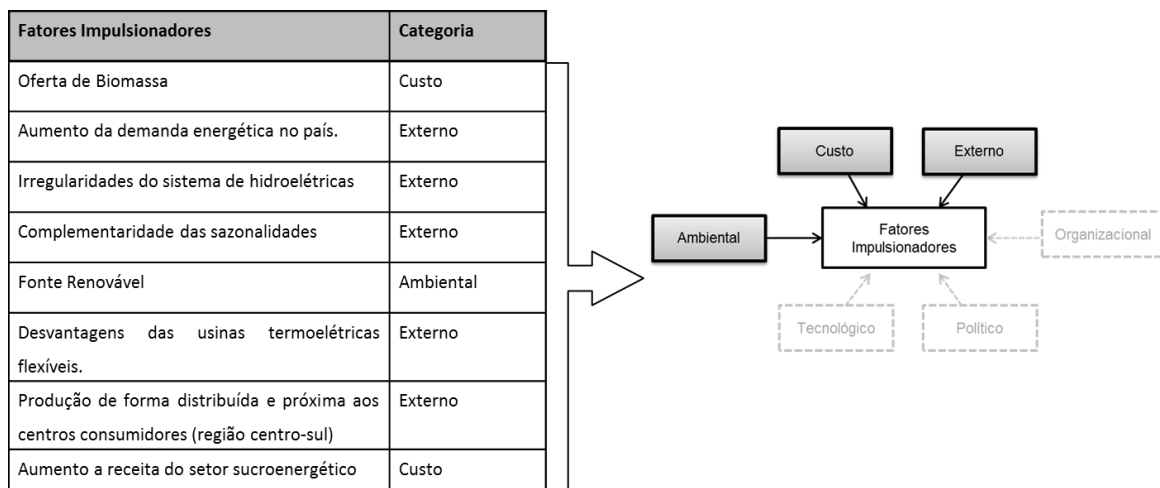
Existem diversas vantagens relacionadas à venda da bioeletricidade da cana. A primeira, além de ser uma energia proveniente de matéria-prima renovável, é o fato de ser uma fonte de geração distribuída, visto que é gerada junto ou próxima aos consumidores e possui portes relativamente pequenos para uma grande quantidade de unidades sucroenergéticas (NYKO *et. al.*, 2010). Além de ser distribuída, essa bioenergia é gerada próximo ao principal centro consumidor do país, a região Sudeste. Estimativas da Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen) mostram que com a utilização de 75% do bagaço e 70% da palha seria possível gerar na safra de 2018/2019 (considerando que todas as usinas fossem dotadas de sistemas de cogeração com caldeiras acima de 60 bar) aproximadamente 30.000 MW de potência exportável, o que equivale a mais de duas vezes a potência da usina hidroelétrica de Itaipu (NYKO *et. al.*, 2010).

Outra vantagem é que a bioeletricidade apresenta uma periodicidade que complementa as oscilações do parque hídrico na região Centro-Sul, onde está localizada 70% da capacidade total dos reservatórios brasileiros.

Apesar das condições e oportunidades que favorecem a cogeração a partir do bagaço e palha da cana-de-açúcar, ainda são poucas as usinas que fazem uso dessa potencial fonte de receita. No Brasil, de acordo com dados da NOVACANA (2015), apenas 159 usinas sucroalcooleiras comercializam a energia. Isso porque, apesar das oportunidades de se inserir no setor de energia elétrica, os desafios dessa transição são bastante altos. Os principais desafios são: modernização das plantas, investimento no sistema de transferência da energia gerada na usina para a rede e competição nos leilões de energia com o preço oferecido pelas usinas eólicas. Fala-se ainda de uma possível competição do uso do bagaço para a produção de etanol lignocelulósico (que será analisado em maiores detalhes na próxima seção).

Com base nas entrevistas com os especialistas foram destacados oito principais fatores impulsionadores para a venda da bioeletricidade (Figura 4), dentre eles estão fatores de caráter de custo e ambiental, já que utiliza como matéria-prima um resíduo renovável e de baixo valor, e ainda de caráter externo, isto é, forças fora do domínio da indústria que criam estímulos a favor dessa oportunidade de inovação.

Figura 4: Principais fatores impulsionadores da venda da bioeletricidade e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.



Os especialistas, no entanto, apontaram diversos desafios associados à implantação dessa oportunidade. Seguem dois comentários dos especialistas sobre os principais desafios associados à venda da bioeletricidade.

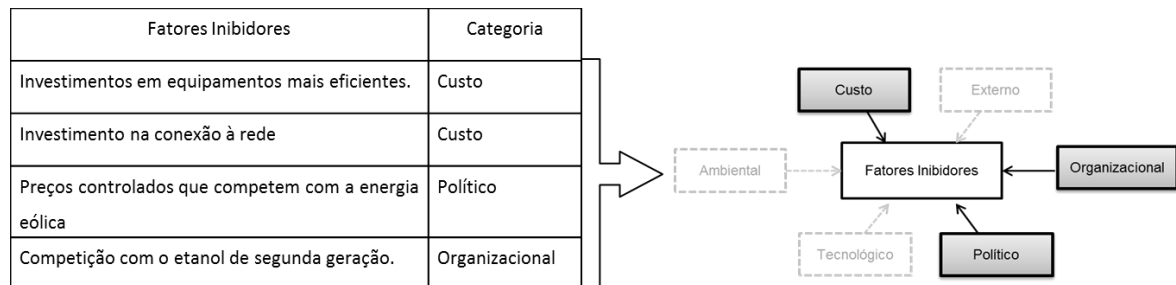
“Não é só a caldeira que é ineficiente, todo o sistema se desenvolveu ineficiente já que não era para sobrar bagaço. Se você trocar a caldeira, você reduz um problema da eficiência.” (Especialista 1 da área de política).

“Não tem como planejar pensando nesse mercado *spot*, tem que planejar pensando num preço de contrato onde você tem garantia de poder ter um projeto atraente” (Especialista 1 da área de indústria).

A Figura 5 resume os principais desafios destacados pelos especialistas. Observa-se que além dos altos investimentos que devem ser feitos tanto interna quanto externamente à usina (conexões com a rede), existem também fatores inibidores de caráter organizacional e político. O primeiro, ainda que com várias dificuldades, pode ser superado apenas pelas usinas, o segundo, no entanto, é um desafio muito maior de ser ultrapassado uma vez que envolvem atores e *institutions* fora do domínio da indústria.

Em resumo, o fator decisivo encontrado neste estudo para a ampla comercialização da bioeletricidade da cana-de-açúcar é a segurança para realização dos investimentos, que está relacionada principalmente com o formato dos leilões de energia, um desafio do tipo *político* difícil de ser superado apenas com esforços das empresas do setor.

Figura 5: Principais fatores inibidores da venda da bioeletricidade e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.



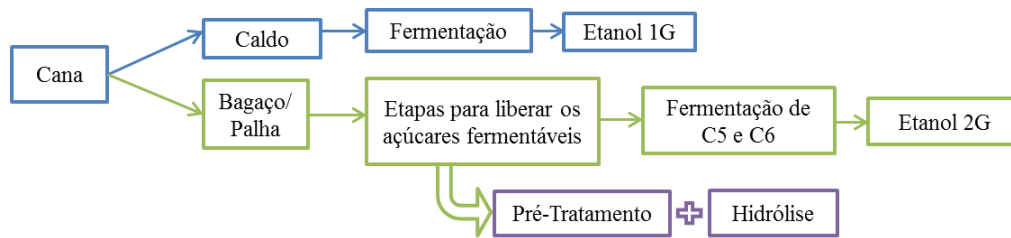
### Etanol de Segunda Geração

A grande demanda por novas fontes de energia limpa está entre as principais motivações para a utilização de resíduos lignocelulósicos como matéria-prima. No caso específico da indústria de etanol, o bagaço e a palha da cana se apresentam como materiais lignocelulósicos de interesse para a produção de etanol de segunda geração (2G), também chamado de etanol lignocelulósico.

A ideia por trás das técnicas de produção do etanol de segunda geração é a extração dos açúcares fermentáveis (aqueles que podem ser convertidos em etanol) do material lignocelulósico, como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar. Para isso, são necessárias etapas preliminares à fermentação dos açúcares, principalmente a etapa de pré-tratamento, para quebra e remoção da lignina e a etapa de hidrólise enzimática, para a quebra das moléculas de celulose e hemicelulose em açúcares fermentáveis, como pode ser visto na Figura 6.



*Figura 6: Diferenças entre a produção do etanol de primeira e segunda geração. Fonte: Elaboração própria.*

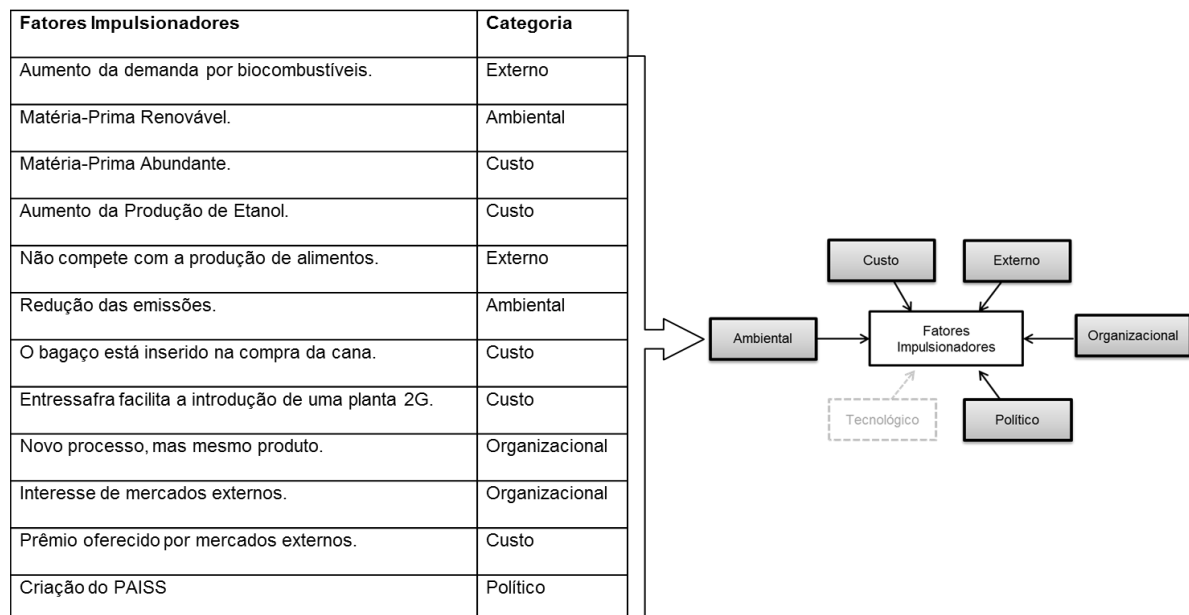


As vantagens colocadas pelos especialistas sobre a produção de etanol 2G foram várias, sendo algumas das mais comentadas: aumento de produção, estima-se um aumento em torno de 50-60% da produção, sem aumento da área plantada; disponibilidade de biomassa, aproximadamente 270-280kg de bagaço e 140 kg de palha para cada tonelada de cana-de-açúcar; disponibilidade na planta, o bagaço já está incluído na compra da cana-de-açúcar e é gerado na própria planta; e disponibilidade de equipamento e utilidades, principalmente na época de entressafra.

A Figura 7 resume os principais fatores impulsionadores para o etanol 2G apresentados pelos especialistas, assim como suas categorias.

Pela análise da Figura 7 é possível observar que a produção de etanol de segunda geração é impulsionada por várias direções, tanto interna quanto externa à indústria. Chama-se a atenção para o fator impulsionador *político*, relacionado com a criação do PAISS, uma iniciativa da esfera macroeconômica que aloca esforços no setor sucroenergético em particular.

*Figura 7: Principais fatores impulsionadores do etanol 2G e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.*

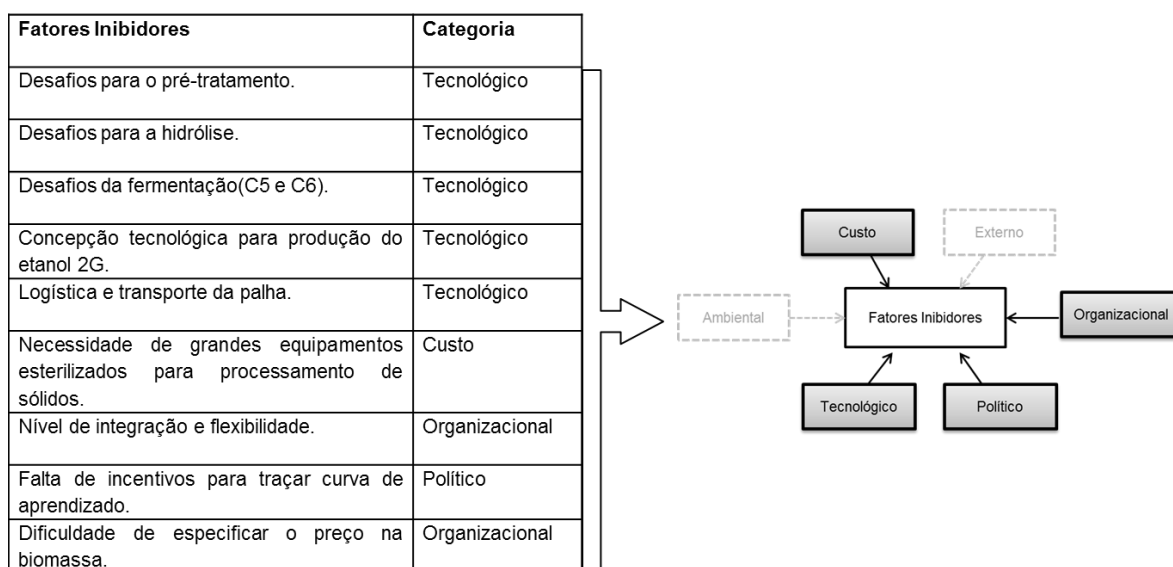


Outro ponto importante de destacar é opinião de alguns especialistas da área da pesquisa em relação a possível competição da utilização bagaço para a cogeração. Dos 7 especialistas da pesquisa, 4 foram categóricos em salientar o potencial energético da lignina (subproduto do etanol 2G) como substituto do bagaço para a geração de energia, como ilustra o comentário do especialista 2 da área de pesquisa.

“Quando você pega a biomassa e remove aqueles polissacarídeos, você fica com a lignina, que tem um potencial calorífico específico 3 vezes superior ao do bagaço, isto é, quando você queima bagaço você está queimando lignina. Então o etanol 2G não retira o bagaço da cogeração.”

Apesar das várias vantagens do etanol 2G, foram colocados também vários desafios relacionados à sua implantação. Os principais fatores inibidores apontados pelos especialistas estão resumidos na Figura 8.

Figura 8: Principais fatores inibidores do etanol 2G e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.



Apesar de terem sido diagnosticados diversos fatores tecnológicos, o fator político relacionado à ausência de um incentivo à produção do etanol 2G (tal como uma certificação da planta) foi verificado como um dos mais relevantes na inibição dessa oportunidade de inovação, como sugere o comentário do especialista 1 da área da indústria.

“...tem uma curva de aprendizado aí que precisa ser traçada, então talvez você tenha que pleitear algum tipo de apoio governamental exatamente para você conseguir fazer uma implantação inicial e traçar esse período de curva de aprendizado sem muito sofrimento.”

Concluindo, pode-se dizer que a intensidade das análises que foram feitas sobre o etanol de segunda geração durante as entrevistas retrata um grande interesse, não só da pesquisa, mas também de diversas empresas, em aproveitar essa oportunidade. A partir desse estudo, pode-se destacar a ausência de incentivos políticos focados na comercialização do etanol 2G como um dos principais fatores que inibem o interesse das empresas no processo de segunda geração.

### Aproveitamento da Vinhaça

A vinhaça, ou vinhoto, é um dos principais subprodutos da indústria sucroenergética. Esse subproduto é gerado na etapa de destilação do etanol em grandes quantidades, cerca de 10-15L por litro de etanol, e apresenta elevado grau poluidor principalmente por sua elevada carga orgânica (MORAES *et al.*, 2013). Dentre as opções de utilização da vinhaça, a fertirrigação é sem dúvida a que encontra maior aplicação. A fertirrigação consiste na infiltração da vinhaça crua no solo pela irrigação das lavouras de cana. Quando aplicada *in natura* no solo, a vinhaça,

além da irrigação, fertiliza o cultivo, baixando os custos com fertilizantes químicos (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

Apesar dessas vantagens, vários estudos têm mostrado que a aplicação da vinhaça no solo pode trazer diversas consequências agressivas ao meio ambiente, como salinização do solo, lixiviação de metais presentes no solo para as águas subterrâneas, alterações na qualidade do solo devido ao desequilíbrio de nutrientes, principalmente de manganês, redução de alcalinidade, perda de colheitas, aumento de fitotoxicidade e odor desagradável (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013).

Como alternativa à fertirrigação tem-se a produção do biogás através de um processo de biodigestão anaeróbia. Esse processo consiste na biodegradação da parte orgânica da vinhaça para a produção de biogás, composto principalmente de metano (CH<sub>4</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e vinhaça biodigerida. A vinhaça biodigerida proveniente deste processo, apesar da remoção de grande parte da matéria orgânica, ainda mantém seu potencial fertilizante e pode ser utilizada no cultivo da cana (CHRISTOFOLETTI *et al.*, 2013). Em relação ao biogás, várias oportunidades estão associadas à sua utilização dentro das usinas sucroenergéticas, tais como, queima na caldeira para geração de vapor e acionamento da moagem, utilização como combustível veicular para os equipamentos de colheita da cana e acionamento de turbinas a gás conjugada com um gerador elétrico (SZYMANSKI *et al.*, 2010).

Diante do potencial de converter a vinhaça em biogás os especialistas do SI do setor sucroenergético destacaram os principais fatores impulsionadores e inibidores para essa oportunidade de inovação. Os resultados dessa análise podem ser verificados nas Figuras 9 e 10.

Dentre os fatores impulsionadores, a possibilidade de substituir o diesel nos motores pesados da frota e as pesquisas feitas nos EUA envolvendo o gás não-convencional, foram os mais citados durante as entrevistas como os principais fatores para estimular essa oportunidade de inovação, como ilustrado pelo comentário do especialista 2 da indústria.

Vinhaça, uma ótima oportunidade aí, o potencial de geração de energia é fantástico (...) seria fantástico pegar esse biogás e rodar a frota, o diesel é um fator de consumo muito sério, poderia rodar os caminhões a biogás, fazer o processo para tirar CO<sub>2</sub>, tirar H<sub>2</sub>S, talvez liquefazer e levar para trator. Nos EUA já tem o *shale gas* (gás não-convencional) que o pessoal está estudando em motores pesados.

Figura 9: Principais fatores impulsionadores o biogás e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.

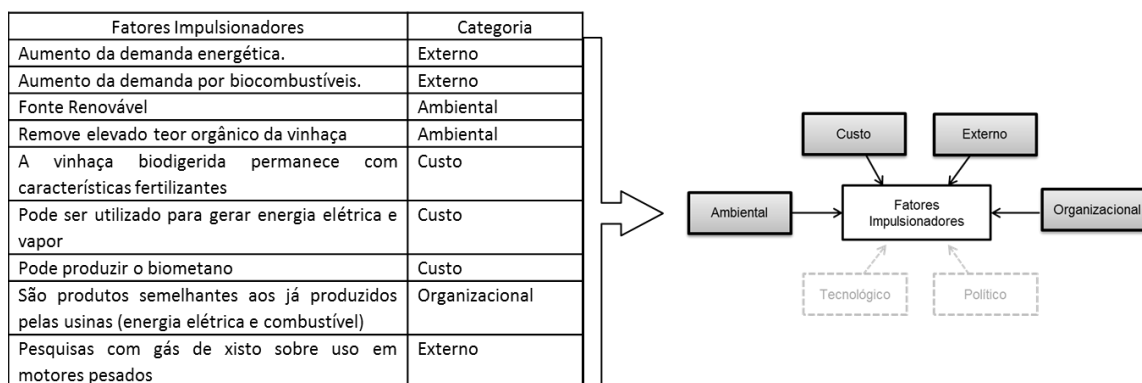
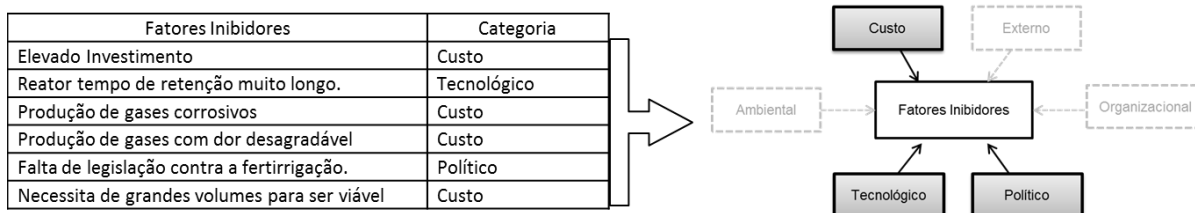


Figura 10: Principais fatores inibidores do biogás e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.



No entanto, o principal fator inibidor é de caráter político. Mais da metade dos entrevistados enfatizaram que enquanto a legislação não for mais específica sobre os riscos associados à fertirrigação, essa destinação mais simples e barata da vinhaça vai ser preferível à produção de biogás.

### Processo de Produção de Etanol de Primeira Geração

A análise sobre as oportunidades de inovação no processo de primeira geração é extremamente necessária já que existe uma intensa discussão sobre se estas seriam factíveis ou não. A vertente que defende o esgotamento das tecnologias sucroenergéticas se baseia na maturidade do setor, principalmente na transformação industrial da cana-de-açúcar. Já a vertente que defende o potencial da primeira geração, se baseia em novas tecnologias, derivadas de inovações incrementais de processo, que possam não só aumentar a quantidade de açúcar convertido como também diminuir os custos com água, energia e mão-de-obra. Um fator agravante para essa discussão é a heterogeneidade das usinas produtoras de etanol no Brasil, que possuem níveis de tecnologias bastante variados.

Registros do Programa de Controle Mútuo, gerido pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC, 2009), mostrou que 14,14% dos açúcares contidos no caldo da cana (ATR - Açúcar Total Recuperável) são perdidos em diversas partes do processo, como pode ser visto na Tabela 1. Essa perda é bastante significativa, indicando que realmente existem oportunidades de melhoria no processo.

Tabela 1: Perdas de ART no processo de produção

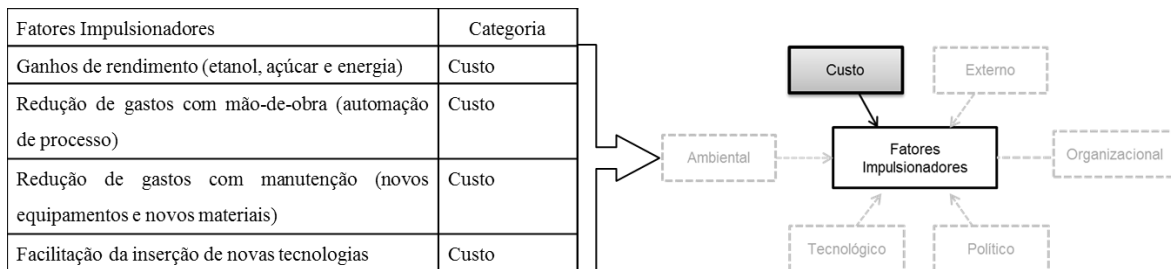
Fonte: CGEE (2009).

Natureza das perdas de ART	Valor atual (%)	Contribuição (%)
Perda na lavagem de cana	0,47	3,32
Perda na extração	3,73	26,38
Perda na torta	0,54	3,82
Perda na fermentação	5,17	36,57
Perda na destilação (devido à vinhaça)	0,18	1,27
Perdas indeterminadas	4,05	28,64
Total	14,14	100,00

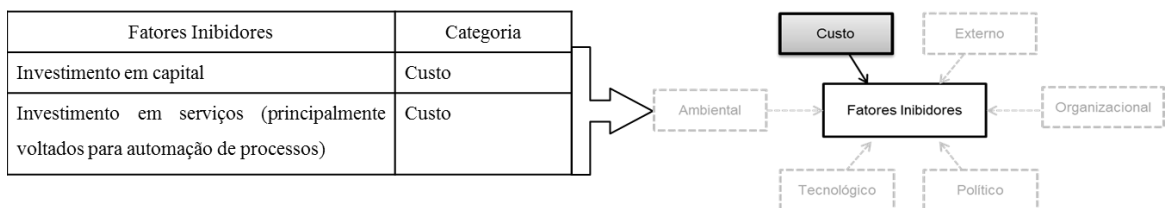
Durante as entrevistas foram apontadas diversas oportunidades de inovação no processo de primeira geração, e não apenas mudanças incrementais no processo. Dentre as mais citadas tem-se: lavagem a seco da cana, modificação no processo de extração da moenda para o difusor, fermentação com linhagens selecionadas de leveduras, pervaporação através de membranas e utilização de peneiras moleculares. Tais mudanças não só permitiriam um melhor aproveitamento do conteúdo energético da cana-de-açúcar como reduziriam os custos com água, energia e mão-de-obra na planta.

Os resultados das análises sobre as oportunidades de inovação no processo de primeira geração estão resumidos nas Figuras 11 e 12. Nestas, pode-se perceber que ambos os fatores impulsionadores e inibidores são de caráter de custo. Desta forma, foi constatada a necessidade de um fator organizacional para administrar o risco associado a implementação dessas inovações incrementais.

*Figura 11: Principais fatores impulsionadores para o processo de primeira geração e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.*



*Figura 12: Principais fatores inibidores para o processo de primeira geração e suas categorias de acordo com os especialistas. Elaboração própria.*



Cogitar um fator organizacional como solução para superar os obstáculos impostos para essa oportunidade de inovação no âmbito da indústria é um grande desafio uma vez que as usinas apresentam níveis muito variados de tecnologia. Uma opinião mais plausível que foi bastante presente nas entrevistas foi a teoria de que apenas alguns grupos desse setor serão capazes de desenvolver tais competências e aplica-las em prol de um processo mais eficiente.

## Gaseificação

A gaseificação aparece como uma das alternativas para a transformação da biomassa em produtos de maior valor agregado e foi reconhecida pelo PAISS como uma das tecnologias de processamento de resíduos com grande potencial que, entretanto, precisa de incentivos para ser plenamente aproveitada. Em contrapartida, apenas uma empresa teve o plano de negócio aprovado para o incentivo, e mesmo está, não levou a frente o projeto.

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica que ocorre entre o oxigênio e uma substância constituída de carbono gerando gás de síntese ou *syngas* (acrônimo de *synthesis gas*). Dentre as sínteses mais estudadas de utilização do *syngas*, a reação de Fischer-Tropsch se destaca pela possibilidade de produzir combustíveis quimicamente idênticos aos de origem fóssil, também chamados de *drop-in*. O *syngas* também pode ser utilizado como matéria-prima para uma gama de outros produtos da indústria química, como ácido acético, formaldeído e metanol.

Apesar do potencial desse processo, foram poucos os especialistas que mostraram algum interesse na gaseificação. Apesar dos fatores impulsionadores descritos na Figura 13, os fatores inibidores relativos à tecnologia, descritos na Figura 14, se mostraram barreiras suficientemente grandes para inibir o aproveitamento dessa oportunidade de inovação.

Figura 13: Principais fatores impulsionadores para a gaseificação e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.

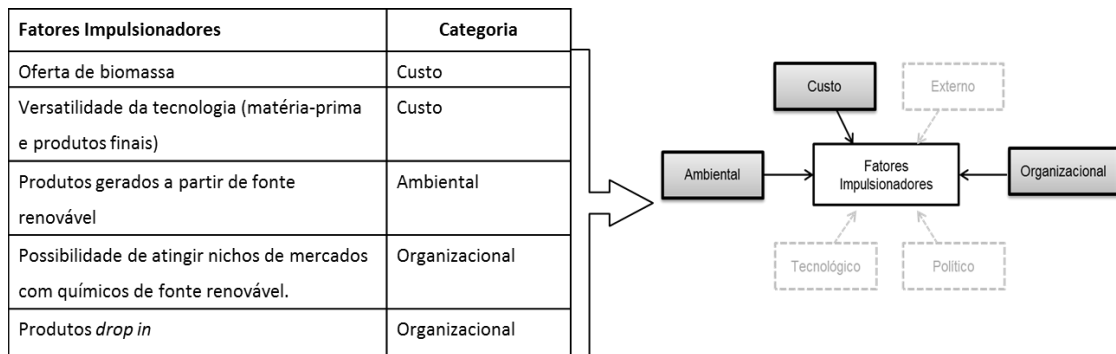
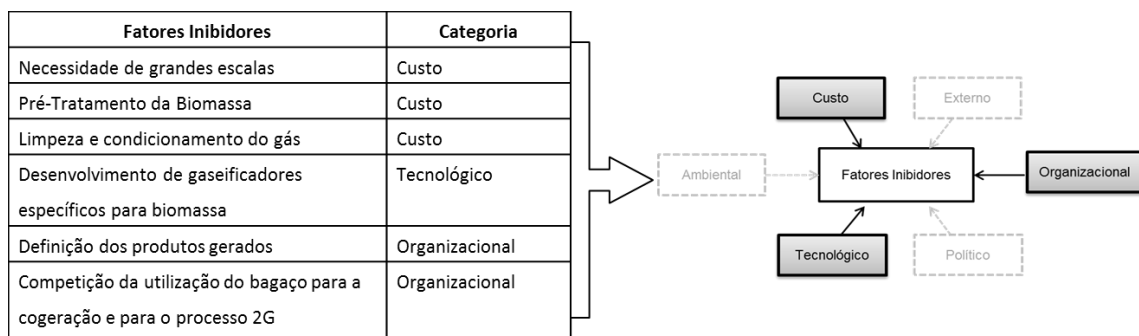


Figura 14: Principais fatores inibidores para a gaseificação e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria



É importante salientar que esse baixo interesse na gaseificação por parte dos entrevistados não é só devido às dificuldades de ordem técnica do processo. Existe uma disposição do setor sucroenergético em querer optar pela plataforma bioquímica e não a termoquímica. Essa preferência foi sinalizada por alguns dos especialistas e pode ser ilustrado no comentário do especialista 1 da pesquisa.

“...essa tendência mundial mostra que a plataforma bioquímica, os processos bioquímicos, têm sido os mais escolhidos, mas tem aí uns 27% que usam plataforma termoquímica. Então tem espaço para eles também.”

### Novos Produtos – Plataforma Bioquímica

O desenvolvimento de novos produtos a partir da biomassa está diretamente relacionado à evolução da bioeconomia, ou indústria baseada em matérias-primas renováveis (*biobased industry*). Bomtempo & Alves (2014) apresentam alguns dos principais *drivers* para o surgimento dessa indústria, como o desenvolvimento expressivo da biotecnologia industrial, as restrições ambientais ao uso de matérias-primas fósseis, as orientações estratégicas empresariais voltadas para desenvolvimento de produtos de origem renovável e a perspectiva de inovação tecnológica como saída de crise, isto é, a chamada *green economy* (do inglês, economia verde) como centro de recuperação da atual crise econômica.

De acordo com Bozell & Petersen (2010), o desenvolvimento da indústria de químicos de origem renovável representa um dos pilares para o sucesso de uma biorrefinaria. Os autores discutem que o desenvolvimento de uma biorrefinaria depende de duas metas estratégicas: a energética e a econômica. A energética foca na substituição do grande volume importado de petróleo para fins de transporte por biocombustíveis, como etanol e biodiesel, que estão

associados a baixos preços e elevados volumes. Contudo, o investimento em operações focadas exclusivamente na produção de biocombustíveis pode apresentar uma barreira significativa para que se atinja a meta econômica. A produção de químicos a partir de biomassa, que estariam associados a baixos volumes e preços elevados, viria como um incentivo e uma solução para que ambas as metas, energética e econômica, fossem alcançadas.

O potencial dessa nova indústria de químicos de origem renovável, que teria como ponto de partida o setor sucroenergético, é enorme. Não só os químicos de origem fóssil podem ser substituídos, como também novas moléculas do tipo plataformas químicas podem criar novos mercados incorporando novos processos, atores e produtos. Obviamente que tal transformação está associada a grandes desafios, a própria abundância de alvos possíveis de ser atingida é um deles, exigindo competências de ordem organizacional e principalmente relacional para lidar com as parcerias com os outros setores que serão indispensáveis.

Com base nas principais características envolvendo os novos produtos das usinas sucroenergéticas, os especialistas descaram os principais fatores que impulsionam e que inibem o aproveitamento dessa oportunidade. Tais resultados podem ser verificados nas Figuras 15 e 16.

Apesar dos grandes desafios de ordem tecnológica, observa-se na Figura 16 que a grande maioria dos fatores inibidores são de característica organizacional. O desafio está presente tanto na opção dos produtos *drop-in* quanto nos não *drop-in*. No primeiro caso tem-se a competição com os produtos de origem fóssil, que vai muito além da competição pelo preço, tendo ainda questões relativas à falta de experiência na entrada de um novo mercado – relacionamento com fornecedores, parâmetros de qualidade, entendimento do mercado, ativos complementares, entre outros. No segundo caso existe um enorme desafio de se criar um novo mercado assumindo tanto as vantagens quanto as desvantagens de ser o *first-mover*. Outra questão organizacional que foi bastante citada foi a dificuldade gerencial de lidar com dois tipos bem diferentes de produtos: *commodities* e possíveis especialidades químicas.

Figura 15: Principais fatores impulsionadores para os novos produtos e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.

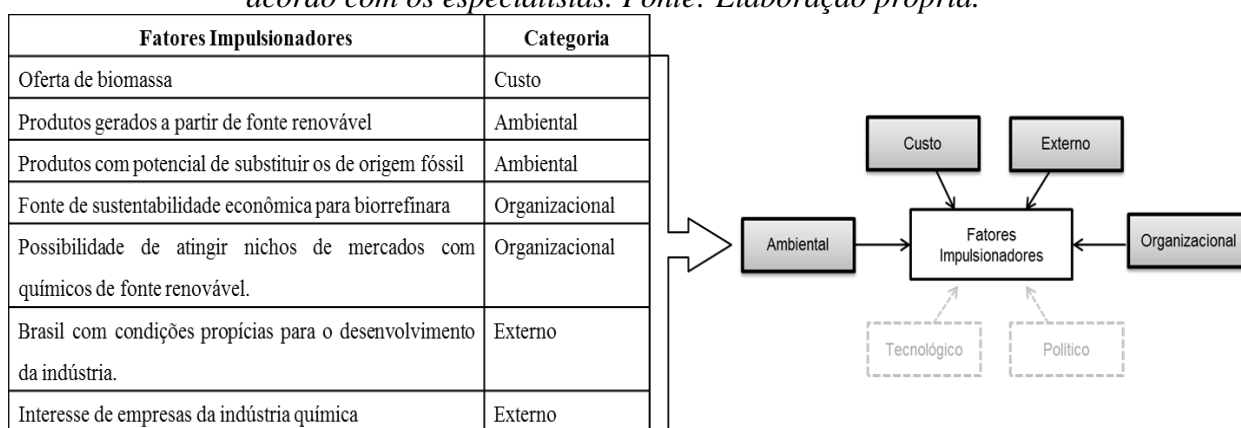
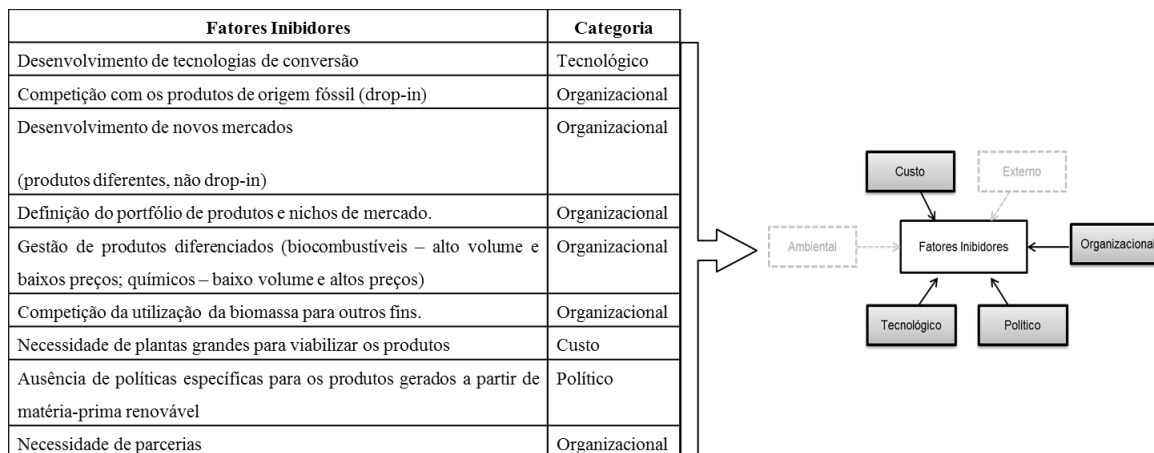


Figura 16: Principais fatores inibidores para os novos produtos e suas categorias de acordo com os especialistas. Fonte: Elaboração própria.



Em contraponto a estes desafios, um fator impulsionador que parece ser capaz de enfrentar tamanhas dificuldades é o interesse de empresas de fora do setor em criar parcerias para aproveitar essas oportunidades de inovação. Como foi colocado pelo especialista 3 da pesquisa:

O modelo que vai ficar em pé é provavelmente o modelo misto, onde as usinas talvez não tenham as tecnologias, essas tecnologias são protegidas, e esse modelo misto é uma *joint venture*.

Essa troca de competências provenientes de tais parcerias seria a única forma (assumindo a opinião da grande maioria dos especialistas) de realmente se criar a indústria de base renovável.

### Perspectiva de Evolução no Setor Sucroenergético

Analisando as seis oportunidades de inovação em conjunto, é possível tirar algumas conclusões sobre as principais barreiras que inibem o aproveitamento dessa oportunidade, o interesse apresentado pelos especialistas para o futuro do setor e o potencial de transformar o setor através da inovação. Essas informações estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Análise das barreiras, interesse e potencial transformador das oportunidades. Fonte: Elaboração própria.

Oportunidade	Principais fatores inibidores	Barreira imposta pelos inibidores	Interesse para o setor	Potencial de transformar o setor
Cogeração	Político	Média	Alto	Baixo
Etanol 2G	Político/Tecnológico	Média	Alto	Médio
Biogás	Político/Tecnológico	Alta	Médio	Médio
Primeira Geração	Custo	Baixa	Baixo	Baixo
Gaseificação	Tecnológico	Alta	Baixo	Alto
Novos Produtos	Organizacional/ Tecnológico	Alta	Alto	Alto



Sobre as barreiras impostas observa-se que as inovações no processo de primeira geração possuem barreiras baixas uma vez que os desafios estão concentrados no nível da empresa e do fornecedor. A cogeração e o etanol 2G apresentam barreiras médias por já estarem se mostrando viáveis. O etanol 2G especificamente, ainda tem muitos desafios tecnológicos a serem enfrentados, no entanto, a mobilização de diversos agentes do sistema de inovação (no nível da política, pesquisa e indústria) em desenvolver essa inovação diminuem os desafios. A produção de biogás e os novos produtos possuem barreiras altas por diferentes razões. No caso do biogás a barreira política relacionada à legislação sobre a fertirrigação é bastante alta para ser ultrapassada apenas pelas empresas do setor. No caso dos novos produtos, os intensos fatores organizacionais inibem fortemente essa oportunidade. Já a gaseificação foi representada de vermelho por uma situação contrária à do etanol 2G, o *desinteresse* dos agentes do setor inibe esta inovação.

A classificação da coluna *interesse para o setor* é restrita à amostra dos 17 entrevistados neste trabalho. A cogeração, o etanol 2G e os novos produtos foram as oportunidades mais enfatizadas pelos entrevistados, enquanto as inovações referentes à primeira geração e à gaseificação foram as menos enfatizadas.

O potencial de transformar o setor está relacionado com a mudança nas 3 dimensões do SI do setor sucroenergético: conhecimento, atores e redes e *institutions*. Por não envolver muitos novos atores e novos conhecimentos, a cogeração e as inovações no processo de primeira geração apresentam baixos potenciais de fazer mudanças significativas no setor. No caso do etanol 2G, apesar de ser o mesmo produto do processo 1G, a cadeia *upstream* vai envolver diversos novos atores e conhecimentos, tais como fornecedores de enzimas, profissionais especializados, processo agrícola de colheita da palha, entre outros. No caso do biogás, apesar da nova tecnologia o novo produto ainda possuiu as características energéticas que o setor está habituado em lidar – geração de eletricidade e produção de combustível. Já para a gaseificação e os novos produtos o potencial de transformação é alto já que envolve novos atores e novos conhecimentos em toda a cadeia de valor, principalmente quando se cogita a produção de químicos.

Feita essa análise, é possível verificar que as oportunidades relacionadas ao etanol de segunda geração e aos novos produtos se destacam por apresentarem, dentre essas três análises, as melhores condições de serem aproveitadas pelo setor.

## CONCLUSÃO

Em geral, as principais barreiras das oportunidades de inovação analisadas neste estudo estão associadas a custo – uma característica inerente à grande maioria das inovações tecnológicas – e a dificuldade em articular ou criar novas relações entre os agentes do SSI. Outro tipo de barreira que também apareceu com frequência foi a ausência de *institutions* que estimulassem tais inovações, isso se reflete nos vários fatores inibidores do tipo político que foram identificados neste estudo.

A necessidade de novas competências não apenas tecnológicas, mas principalmente organizacionais, num ambiente que não proporciona todas as *institutions* necessárias para o processo de inovação leva o setor a um estado de letargia.

Apesar dessas barreiras, duas oportunidades de inovação que se destacaram foram: o etanol 2G e os novos produtos. O etanol 2G por mostrar grandes avanços tecnológicos envolvendo a sua produção e a sinergia entre os agentes do SI em promover essa inovação. O etanol 2G ainda contribui bastante na modificação do setor uma vez que a sua produção agrega novos atores e

novas tecnologias. E ainda, assumindo que o setor ganhe experiência em lidar com as novas etapas para a produção do etanol, essas novas competências adquiridas ajudam a reduzir as barreiras para outra oportunidade de inovação – os novos produtos a partir de processos biotecnológicos.

A oportunidade dos novos produtos pelo setor sucroenergético foi destacada pelos especialistas como a peça-chave para o desenvolvimento da biorrefinaria no Brasil e que o mais importante para que se usufrua desta oportunidade é a agregação de novas competências através de alianças estratégicas com outros setores.

## REFERÊNCIAS

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento. Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico – PAISS. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br> → Acessado em agosto de 2014.

BOMTEMPO, J. V.; ALVES, F. C. Innovation dynamics in the biobased industry. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. v. 1, n. 19, 2014.

BOZELL, J.; PETERSEN, R. Technology development for the production of biobased products from biorrefinery carbohydrates, the US Department of Energy's "Top 10" revisited. *Green Chemistry*, v. 12, n. 4, p. 525-728, 2010.

CANILHA, S.; CHANDEL, A.K.; MILESSI, T.S.S.; ANTUNES, F.A.F.; FREITAS, W.L.C.; FELIPE, M. G. A.; SILVA, S.S. Bioconversion of sugarcane biomass into ethanol: an overview about composition of hydrolysates, enzymatic saccharification and ethanol fermentation. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. v. 2012, 15 p. 2012.

CGEE, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Bioetanol combustível: uma oportunidade para o Brasil. Brasília, DF. 2009.

CHRISTOFOLETTI, C. A.; ESCHER, J. P.; CORREIA, J. E.; MARINHO, J. F. U.; FONTANETTI, C. S. Sucarcane vinasse: Environmental implications of its use. *Waste Management*, n. 33, p. 2752-2761, 2013

DANTAS, G. A. 2013. Alternativas de investimento do setor sucroenergético brasileiro para aproveitamento de bagaço e de palha. f. 183. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. PPE.

FURLAN, F. F.; FILHO; TONON, R.; PINTO, F. H. P. B.; COSTA, COSTA, C. B. B.; CRUZ, A. J. G.; GIORDANO, R. L. C.; GIORDANO, R. C. Bioelectricity versus bioethanol from sugarcane bagasse: is it worth being flexible?. *Biotechnology for biofuels*. v. 2013, n. 6, p. 142- 155, 2013.

FURTADO, A.T.; SCANDIFFIO, M.I.G.; CORTEZ, L.A.B. The Brazilian Sugarcane innovation system. *Energy Policy*. n. 39, p. 156-166, 2010.

LUNDEVALL, B. A. National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive. Learning, London Pritter, Londres. 1992.

MALERBA, F. Sectorial Systems: How and why innovation diffres across sectors. *The Oxford Handbook of Innovation*. p. 380-401, 2006.

MALERBA, F.; ORSENIGO, L.. Schumpeterian patterns of Innovation are technology-specific. *Research Policy*, v. 25, p. 451-478, 1996.

MORAES, B. S.; JUNQUEIRA, T. S.; PAVANELLO, L. G.; CAVALETT, O.; MANTELATTO, P. E. BONOMI, A.; ZAIAT, M. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense? *Applied Energy*. n. 113, p 825-835, 2013.

NYKO, D.; FARIA, J. L. G.; MILANEZ, A. Y.; CASTRO, N. J.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G. Determinantes do baixo aproveitamento do potencial elétrico do setor sucroenergético: uma pesquisa de campo. *BNDES Setorial* 33. Bioenergia p. 421 – 476, 2010.



NOGUEIRA, L. A. H. Bioetanol de cana-de-açúcar. Energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES e CGEE (orgs.), 2008.

NOVACANA. As usinas de etanol autorizadas pelo governo da Califórnia. Disponível em: <<http://www.novacana.com/dados/usinas/usinas-cadastradas-na-california>> Acessado em janeiro de 2015.

OGEDA, T.L.; PETRI, D.F.S. Hidrólise enzimática de biomassa. Quím. Nova. v.33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBONOT, R.; SCHIRMER, W. N. Biodigestão Anaeróbica da vinhaça: aproveitamento energético e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso. Semina: Ciências Agrícolas, Londrina, v. 31, n. 4, p. 901-912, 2010.

VERGES, P. H. Transição do Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro. 2013. f.106. Tese (Doutorado em Economia). Instituto de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.