



PERSPECTIVAS E SITUAÇÃO ATUAL DA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

PERSPECTIVES AND CURRENT STATUS FOR BIOFUELS PRODUCTION

Lorena Resende Oliveira

lorenaresendeo@gmail.com

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Rayssa Dias Batista

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

raysdiasbatista@hotmail.com

RESUMO

A busca por novas fontes de energia renovável está cada vez mais crescente e exigindo pesquisas que desenvolvam técnicas altamente produtivas, com processos otimizados e custos cada vez menores para que o produto seja competitivo no mercado. Dessa forma, o rastreamento de microrganismos potencialmente utilizados para a produção de etanol, biodiesel e biogás é relevante para entender a forma de obtenção dessas fontes de energia e assim, propor novas técnicas para melhoria da produção. Na produção de etanol, as pesquisas estão voltadas para a obtenção de microrganismos geneticamente modificados capazes de converterem os compostos da parede celular de resíduos agrícolas em açúcares fermentescíveis. Para a obtenção de biodiesel, as leveduras oleaginosas tem se mostrado excelentes candidatas na produção de lipídeos que podem ser usados como matéria-prima para a produção de biodiesel. As pesquisas relacionadas ao biogás no Brasil estão voltadas a obtenção do mesmo de aterros sanitários. E como o processo de geração da mistura de gases que compõe o biogás é por digestão anaeróbica, a utilização de culturas mistas de alguns grupos microbianos como aditivos no processo de produção tem mostrado excelente produtividade. O presente trabalho tem por objetivo mostrar os grupos de microrganismos que estão sendo estudados para a produção de biocombustíveis e como está o mercado brasileiro na produção dessas fontes de energia renovável.

Palavras-chave: Biodiesel; Biogás; Digestão anaeróbica; Etanol; Fonte renovável.

ABSTRACT

The search for new sources of renewable energy is increasingly growing and demanding research to develop highly productive techniques, optimized processes and lower costs for the product is competitive in the marketplace. Thus, the screening of potential microorganisms used for the production of ethanol, biodiesel and biogas is relevant to understand how to obtain these sources of energy and then proposing new techniques to improve production. In ethanol production, the research is aimed at obtaining genetically modified microorganisms capable of converting the compounds of the cell wall of agricultural waste into fermentable sugars. To produce biodiesel, the oleaginous yeast has been shown to be excellent candidates for the production of lipids that can be used as element for biodiesel production. In Brazil biogas-related research is aimed at obtaining this source of energy from landfills. And as the biogas generation process occurs by anaerobic digestion, the use of mixed cultures of some microbial groups as additives in that production process has shown excellent productivity. This paper aims to show the groups of microorganisms that are being studied for the production of biofuels and how is the Brazilian market in the production of renewable energy sources.

Keyword: Biodiesel; Biogas; Anaerobic Digestion; Ethanol; Renewable source.

1 INTRODUÇÃO

A escassez de energia é um problema em todo mundo devido à globalização e a crescente demanda por energia. É provável que o crescimento da produção de petróleo e gás, que são de fácil acesso, não conseguirá atender a população do ano de 2040-2050, uma vez que o nível da demanda de petróleo vai aumentar de $85 \text{ Mb} \cdot \text{dia}^{-1}$ de 2008 para $105 \text{ Mb} \cdot \text{dia}^{-1}$ em 2030 e, além disso, o número de veículos vai aumentar para 1,3 bilhão em 2030 e para 2 bilhões em 2050 (BAEYENS et al., 2015).

A redução da disponibilidade dos combustíveis fósseis e os problemas ambientais relacionados com a emissão de gases de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa são algumas das preocupações que vem crescendo cada dia mais. Os biocombustíveis possuem como características a baixa toxicidade, são biodegradáveis, renováveis e são capazes de reduzirem as emissões de gases prejudiciais ao mundo. Devido a isto, estão sendo realizadas novas pesquisas a fim de desenvolver e melhorar a produção de biocombustíveis a partir de recursos renováveis. (PALUDO, 2014).

Uma alternativa eficiente e que vem sendo bastante investigada são os microrganismos que são capazes de produzir moléculas com características desejáveis para a produção de biocombustíveis. Algumas moléculas que normalmente não são sintetizadas pelos microrganismos podem passar a ser através das modificações genéticas. Os microrganismos são capazes de produzir combustíveis tais como bioetanol, biodiesel, e biogás, que são de destaque no cenário mundial. Essa energia a partir de microrganismos é vantajosa devido à mesma não provocar impactos ambientais e não produzir materiais perigosos, e por isso essa produção de energia é um processo limpo (ANTUNES; SILVA, 2011).

Os microrganismos geneticamente modificados são capazes de converter, além dos açúcares simples como glicose ou sacarose, os demais açúcares da biomassa lignocelulósica em compostos de interesse. Essa modificação genética baseia-se na introdução de genes para que os microrganismos passem a expressar características específicas que antes não eram capazes com o objetivo de aumentar a produtividade de tal composto de interesse (ANTUNES; SILVA, 2011; PALUDO, 2014).

A *Escherichia coli* e *Saccharomyces cerevisiae* são as espécies mais utilizadas para modificações genéticas e quando são geneticamente modificados devem ter alta taxa de produtividade e não perder o seu desempenho durante o processo de produção (FÁVARO, 2012; PALUDO, 2014).

A obtenção de biocombustíveis a partir de microrganismos certamente receberá incentivos para promover o abastecimento e o desenvolvimento sustentável da população. Um entendimento claro da organização e comportamento da complexa comunidade de microrganismos na produção de biocombustíveis é extremamente importante para otimizar o desempenho da produção e também, para alcançar um processo operando de forma estável e com maior produtividade. Logo, esse artigo tem como objetivo mostrar a população microbiana em produzir diferentes tipos de biocombustíveis que podem ser usados sem prejudicar o meio ambiente e assim, atender a demanda de energia para a população.

2 PRODUÇÃO DE ETANOL

O Bioetanol é um combustível limpo e renovável e está ganhando cada vez mais atenção, principalmente devido aos seus principais benefícios ambientais. Este biocombustível pode ser produzido a partir de matérias-primas açucaradas (sacarose, glicose, frutose e lactose), amiláceas (grãos de milho, mandioca, trigo, cevada, batata) e lignocelulósicas (resíduos agro-industriais e florestais), sendo que no Brasil utiliza-se mais a cana-de-açúcar. Com o objetivo de alcançar um maior rendimento e produtividade, devido à importância do etanol, diversos estudos de engenharia metabólica estão sendo efetuados em microrganismos para aumentar a produção do mesmo (LIMAYEM; RICKE, 2012; BAEYENS et al., 2015).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* e a bactéria *Zymomonas mobilis* são usualmente utilizadas para converter açúcares C6 (hexoses), como a glicose em etanol. Ambas são adaptadas à fermentação de etanol, com uma tolerância alta a este combustível. No entanto esses dois microrganismos são incapazes de fermentar açúcares C5 (pentoses). Algumas leveduras e bactérias estão sendo investigadas para fermentar a xilose e outras pentoses em etanol, como as leveduras *Candida shehatae* e *Pichia stipitis* que tem grande potencial, mas elas apresentam uma baixa tolerância ao etanol, baixo rendimento na produção do mesmo e são inativas em pH baixo (JANG et al., 2012; BAEYENS et al., 2015).

Ao contrário da *Saccharomyces cerevisiae* e *Zymomonas mobilis*, a *E. coli* é capaz de usar tanto açúcares pentoses e hexoses, e é altamente favorável à engenharia metabólica para a produção de combustível, mas produzem apenas uma pequena quantidade de etanol durante a fermentação. Devido a isso uma estirpe *E. coli* foi metabolicamente modificada para produzir uma maior quantidade de etanol por meio da introdução de genes exógenos, eliminação de vias competitivas, e interrupção da formação de subprodutos. Então uma estirpe, chamada *E. coli* KO11, foi construído a partir da introdução de genes exógenos de *Z. mobilis* na cepa *E. coli* W e esse gene exógeno codificam a piruvato-descarboxilase e álcool desidrogenase (operon PET) interrompendo a fumarato redutase (JANG et al., 2012; HUFFER et al., 2012).

A estirpe *E. coli* KO11 foi capaz de produzir etanol cerca de 95% do rendimento teórico em um meio complexo, o qual é semelhante a produção de etanol pela *S. cerevisiae*. Além disso, para aumentar a tolerância ao etanol num meio complexo, a estirpe *E. coli* LY01 foi obtida por meio de sua evolução adaptativa e seleção. No entanto, o custo da produção de etanol aumentou devido a dependência de ambos *E. coli* KO11 e LY01 no suplemento nutricional complexo, então uma nova estirpe *E. coli* etanologênica, derivada de KO11, nomeada de estirpe SZ110, foi obtida para melhorar o rendimento da produção de etanol em meio mínimo. Para isso a estirpe SZ110 foi reprogramada novamente pela eliminação de lactato desidrogenase e inserindo piruvato formato liase (PFL) e operon PET de *Z. mobilis* (JANG et al., 2012).

Além do etanol, entre os combustíveis derivados de álcoois, podemos exemplificar álcoois de cadeia mais longa (de 3 a 5 carbonos) produzidos a partir de microrganismos, como isopropanol, 1-propanol, 1-butanol, isobutanol, 3-metil-1-butanol, 2-metil-1-butanol e isopentanol. Esses álcoois podem ser facilmente misturados em gasolina ou substituí-lo completamente (FÁVARO, 2012; HUFFER et al., 2012).

Butanol é um álcool primário de quatro carbonos ($C_4H_{10}O$) e recentemente está atraindo muito interesse devido ao seu grande potencial para ser usado como um combustível alternativo. Bactérias do gênero

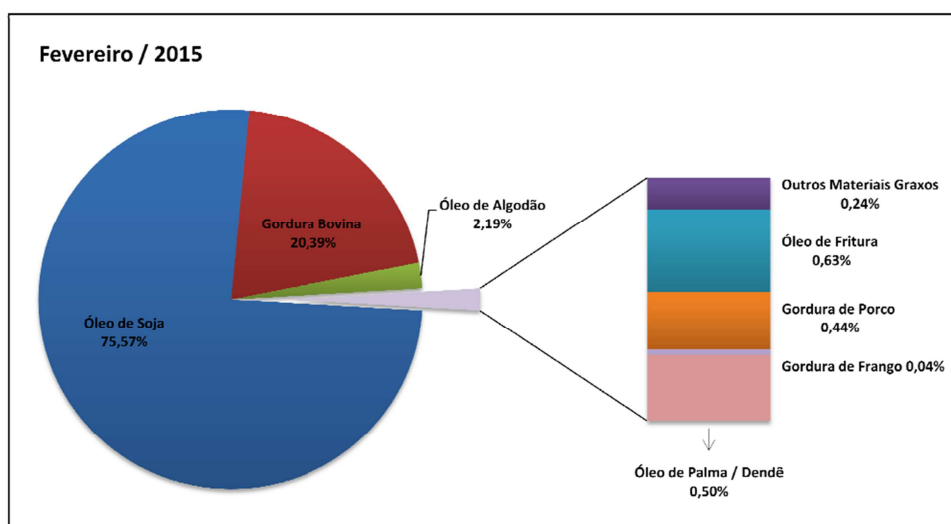
Clostridium são produtoras naturais desse álcool, porém a produção de butanol é limitada nessas bactérias (ZHENG et al., 2015).

Essa limitação para a produção de butanol a partir do *Clostridium* pode ser melhorada pela introdução da sua via de produção de butanol em organismos que crescem mais rapidamente, que podem tolerar concentrações elevadas de butanol ou que pode metabolizar matérias-primas alternativas, como a *E. coli* que tem uma elevada taxa de crescimento; a *Saccharomyces cerevisiae* que tem uma alta tolerância ao etanol e para o butanol; *Lactobacillus brevis* que digere substratos C5 e C6 e tem uma alta tolerância ao etanol e butanol e a cianobactéria *Synechococcus elongatus* que é capaz de produzir butanol a partir de CO_2 pela fotossíntese (YAHYA et al., 2012; FÁVARO, 2012).

3 PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Atualmente a maioria do biodiesel é produzida a partir de óleos vegetais na forma de triglicerídeos que são convertidos em ésteres metílicos de ácidos graxos (EMAGs). Além do óleo vegetal o biodiesel pode ser produzido a partir de gorduras animais ou produtos residuais, como o óleo de fritura após ser usado, podendo ser verificado no gráfico 2. Entretanto, os óleos vegetais são obtidos a partir de alimentos e devido a isso pode causar instabilidades no preço dos alimentos e também a indústria de biodiesel acabará competindo com a indústria de alimentos para a produção de culturas oleaginosas. Uma forma de diminuir tais problemas e atender o rápido crescimento da produção desse combustível é o desenvolvimento de novas formas para produção do biodiesel a partir de fontes não alimentares (HUFFER et al.,2012; SUNG et al., 2014).

Gráfico 1 - Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel



Fonte: ANP (2015)

Segundo Vicente e outros (2009) os microrganismos que são capazes de produzir mais de 20-25% de lipídeos são chamados de espécies oleaginosas e a maioria desses óleos produzidos por esses microrganismos estão na forma de triglicerídeo, principal componente do óleo vegetal. Desta forma, esses lipídeos obtidos de espécies oleaginosas podem ser usados como matéria-prima para a produção de biodiesel, utilizando a reação

de transesterificação em que o triglicerídeo reage com metanol na presença de um catalisador ácido (HCl ou H₂SO₄) ou básico (NaOH ou KOH) para a produção de ésteres metílicos de ácidos graxos e glicerol (EMAGs) (THLIVEROS et al., 2014).

As principais espécies oleaginosas são microalgas, bactérias, fungos e leveduras. Um exemplo de leveduras oleaginosas é a *Cryptococcus* sp que foi cultivada em um meio contendo o substrato alcachofra de Jerusalém pré tratado que contém elevado teor de carboidrato e oligoelementos (meio DSMZ 320). A concentração celular final foi de quase 6.1 g / L e teor de lipídios foi aproximadamente de 28,5% após 36 horas, mostrando que a levedura *Cryptococcus* sp. cresceu e acumulou maior teor de lipídeo em meio contendo alcachofra de Jerusalém, quando comparada com o cultivo em meio definido usando frutose pura como substrato. Com isso, a utilização de alcachofra de Jerusalém como fonte de carbono para a levedura poderia ser uma via promissora para a produção de biodiesel com qualidade (SUNG et al., 2014).

Uma bactéria com grande potencial para a produção de biodiesel é a estirpe *Serratia* sp. ISTD04, que tem como característica o uso de CO₂ para a produção de lipídeos. Essa bactéria foi cultivada em meio LB (Luria Bertanie) e depois foi transferida para um meio de sal mínimo (MEM) contendo glicose. Após a produção de lipídios foi feita a reação de transesterificação usando a mistura com catalisador (NaOH) e metanol. A produção de lipídio extracelular foi de 466 mg/ L e os ésteres metílico de ácidos graxos insaturados e saturados totalizaram aproximadamente 49% e 51%. Isso mostra que a estirpe *Serratia* sp. ISTD04 é uma bactéria promissora para sequestrar CO₂ e posterior produção de biodiesel (BHARTI et al., 2014).

Entre os fungos oleaginosos, a *Mortierella isabellina* possui como característica a capacidade de acumular uma quantidade considerável de lipídios de até 80% da biomassa celular. Esse fungo pode ser cultivado em vários tipos de substratos, incluindo açúcares de monômero, glicerol, bem como hidrolisados de biomassa lignocelulósica (casca de arroz e caules de milho). Além disso, a *Mortierella isabellina* apresentou melhor desempenho na produção de lipídios em comparação com os outros fungos oleaginosos e também apresentou boa tolerância aos inibidores derivados de materiais lignocelulósicos. Devido a isso, este fungo poderia ser um bom candidato para a produção de lipídios utilizando matéria-prima renovável de baixo custo para posterior produção de biodiesel (GAO et al., 2013).

4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O biogás é um gás natural produzido pela digestão anaeróbica de resíduos vegetais, dejetos animais e também, de lixo industrial e residencial. Ele é composto por uma mistura de gases, sendo os principais o metano e o gás carbônico, conforme tabela 1. O tipo e a porcentagem de gás presentes nessa mistura variam de acordo com as características do resíduo utilizado durante a fermentação e as condições do processo de digestão (SOUZA et al., 2004; MARTINS; ASSIS, 2007).

Tabela 1 - Composição do biogás.

Gás	Fórmula Molecular	Teor no Biogás (%)
Metano	CH ₄	50-75
Dióxido de Carbono	CO ₂	25-45
Hidrogênio	H ₂	<1
Nitrogênio	N ₂	<2
Gás sulfídrico e amônia	H ₂ S, NH ₃	<1

Fonte: SEADI *et al.* (adaptado), 2008.

O gás produzido dessa digestão anaeróbica pode ser utilizado diretamente, purificado ou então, purificado e armazenado para posterior utilização. O biogás pode ser empregado na produção de vapor, usado em indústrias que tratam seus resíduos e utilizam o biogás gerado para geração de vapor nas caldeiras, economizando assim, carvão mineral e vegetal, óleo combustível, dentre outras formas de energia. Ele pode ser utilizado também para a produção de energia primária, fornecendo energia mecânica em turbinas e motores, que quando acoplados a geradores elétricos produzem energia elétrica que podem ser usadas localmente pelas indústrias ou vendidas para concessionárias de energia elétrica. Além dessas aplicações, o biogás pode ser utilizado como combustível veicular, sendo necessária uma purificação para a retirada de gás carbônico e sulfídrico. E um dos compostos do biogás, o metano, pode ser utilizado como matéria-prima para a síntese de compostos orgânicos, como por exemplo, o metanol (OLIVEIRA, 2009).

A maioria das espécies que foram identificadas em reatores para a produção de biogás são membros das classes de Clostridia e Bacilli, juntamente com os membros da Bacteroidia, Mollicutes, Gammaproteobacteria e Actinobacteria. Entre as *archaeas*, o autotrófico mais abundante é do gênero das *Methanosarcina spp.*, enquanto que os hidrogenotróficos mais abundantes são *Methanoculleus spp.*, *Methanospirillum spp.* e *Methanocorpusculum spp.* (CARDINALI-REZENDE *et al.*, 2012).

Na produção de biogás a partir de resíduos vegetais obtidos das culturas de milho, arroz, algodão e capins, os grupos de microrganismo presentes e responsáveis por realizar a digestão anaeróbica são: as bactérias celulolíticas, como os clostrídios e bacilos, que são capazes de hidrolisar os componentes da parede celular das plantas (celulose e xilana) em carboidratos (monossacarídeos, dissacarídeos e oligossacarídeos); as bactérias acidogênicas, como as Pseudomonas, Flavobactérias, dentre outras, que fermentam os açúcares em ácidos orgânicos; as bactérias acetogênicas, que convertem os ácidos orgânicos produzidos anteriormente em CO₂ e H₂; E para finalizar, as bactérias metanogênicas ou *archaeas*, que utilizam os substratos acetato, CO₂, H₂, o formiato e álcoois para produzir o gás metano (CH₄) (SCHLUTER *et al.*, 2008).

Na produção de biogás a partir de resíduos orgânicos, como de lixos residenciais e industriais, geralmente, o produto principal da fermentação anaeróbica é o ácido acético. E a produção em excesso de ácidos graxos voláteis pode trazer efeito inibitório durante a fermentação desses resíduos (RASIT *et al.*, 2015). Os grupos de microrganismos presentes na fermentação anaeróbica são semelhantes ao que ocorre na produção de biogás de resíduos vegetais, diferindo apenas alguns filos. Por exemplo, Cardinali-Rezende *et al.*

(2012) identificaram os seguintes microrganismos presentes em resíduos sólidos municipais durante uma digestão anaeróbica, em que predominaram os filos Bacteroidetes e Firmicutes, e também foram encontrados os filos Proteobacteria, Actinobacteria, Tenericutes.

Muitos microrganismos estão sendo utilizados para aprimorar a produção de biogás, como exemplo temos a pesquisa de Čater e outros (2015), em que foi utilizado os seguintes gêneros de microrganismos *Ruminococcus flavefaciens* 007C, *Pseudobutyrvibrio xylanivorans* Mz5^T, *Fibrobacter succinogenes* S85 e *Clostridium cellulovorans* como culturas puras e mistas para aprimorar a degradação de lignocelulose de bagaços de cervejarias e assim, aumentar a produção de biogás. Sendo a cultura pura *Pseudobutyrvibrio xylanivorans* Mz5^T, seguida pela co-cultura de *P. xylanivorans* Mz5^T e *F. succinogenes* S85, os microrganismos que mais elevaram a produção de metano.

Algumas cepas celulolíticas de bactérias como actinomicetos e de culturas mistas ao serem estudadas também conseguiram maximizar a produção de biogás obtida a partir do esterco de bovinos (TIRUMALE; NAND, 1994; ATTAR et al., 1998). Em dejetos de suínos, que são ricos em fibras, Tuesorn e outros (2013) utilizaram consórcios microbianos lignocelulolíticos para aumentar a produção de biogás, Sendo eles obtidos do adubo de bagaço de cana. Eles observaram que esses consórcios microbianos lignocelulolíticos podem ser potencialmente usados para melhorar a produção de biogás utilizando substratos de resíduos lignocelulósicos.

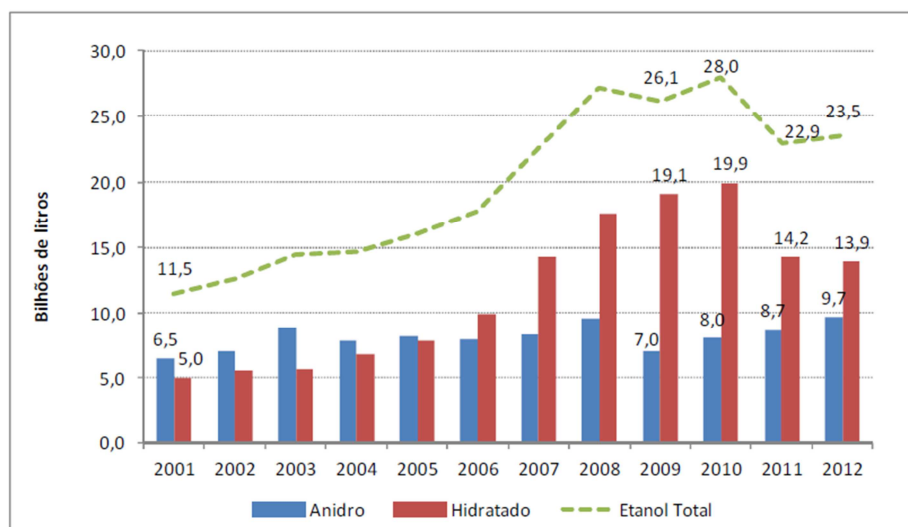
Dhadse e outros (2012) realizaram experimentos utilizando três diferentes culturas microbianas mistas que eles nomearam de "A", "B" e "C" para descobrir quais delas eram adequadas para geração máxima de biogás. Sendo que, a cultura mista "B" continha bactérias anaeróbias estritas e facultativas como dos grupos, *Bacteroides* sp., *Peptostreptococcus* sp., *Clostridium* sp. e *Propionibacterium* sp.; o consórcio "C" era composto por bactérias metanogênicas como *Methanobacterium Formicum*, *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanosarcina frisia*, *Methanotherix Soehngen*. E a cultura mista "A" era composta por todos os oito isolados. Em seus experimentos, eles observaram que houve uma concentração mais elevada de metano quando foi utilizada a cultura mista "C" contendo quatro bactérias metanogênicas diferentes quando comparados com os outros consórcios microbianos.

É válido ressaltar que, o estudo da composição e interações dentro de uma comunidade microbiana produtoras de biogás, e a contribuição de uma bactéria específica para o processo ainda são desconhecidos. Além disso, a influência das propriedades físico-químicas, parâmetros na estrutura populacional e eficiência da formação de biogás ainda está sob investigação.

5 MERCADO ATUAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL

Os biocombustíveis mais utilizados no mercado brasileiro são o etanol e o biodiesel que podem ser aproveitados puros ou adicionados a combustíveis convencionais (SAUER, 2008). A demanda por etanol no ano de 2010, por exemplo, alcançou 25 bilhões de litros, (CHAGAS, 2012). E a produção de etanol (anidro e hidratado) nesse mesmo ano foi de aproximadamente 28 bilhões de litros, com quedas na produção nos anos de 2011/12 (EPE, 2012).

Gráfico 2 - Produção brasileira de etanol



Fonte: EPE (2012)

Com relação ao biodiesel, no ano de 2012, o consumo foi de 2,72 bilhões de litros no Brasil, com um aumento de 6,9% em relação ao ano de 2011, que ocorreu devido ao aumento da demanda nacional de diesel. Com esses números, o Brasil passou a ser o terceiro maior produtor de biodiesel no mundo ficando atrás apenas dos EUA e Argentina (EPE, 2012). Além disso, atualmente existem 59 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) para operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 21.506,51 m³/dia. As principais matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no mês de fevereiro de 2015 foram e ainda são o óleo de soja (75,57%), seguido por gordura bovina (20,39%) (ANP, 2015).

O mercado brasileiro de biogás ainda é limitado, pois ainda são necessários incentivos para criação de projetos para essa forma de energia. Mas, segundo a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, o Brasil é um dos países que tem mais projetos (17) de aproveitamento de biogás em aterros sanitários registrados em 2006. Alguns exemplos de empresas e aterros que utilizam essa forma de energia no Brasil são: a Novagerar, aterro Bandeirantes, S. A. Paulista (Nova Iguaçu) dentre outras (LANDIM; AZEVEDO, 2008).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diversos estudos estão sendo realizados para a obtenção de biocombustíveis, já que as fontes de obtenção dessas energias renováveis são na maioria dos casos resíduos agroindustriais e lixo residencial. Pelo rastreamento de microrganismos responsáveis pelo processo de conversão desses resíduos em energia é possível inferir que, os microrganismos com potencial para a produção de etanol são aqueles capazes de produzir enzimas que degradam a parede celular de vegetais em açúcares fermentescíveis e que tenham tolerância ao etanol. Na produção de biodiesel, as espécies de microrganismos oleaginosos têm competido com as microalgas devido à rápida taxa de crescimento e o alto teor de produção de lipídios.

Na produção de biogás, os microrganismos ou consórcios microbianos estão sendo utilizados como aditivos para melhorar a produção desse gás. E também para aumentar a capacidade de degradação da lignocelulose, quando os substratos utilizados para a produção são resíduos vegetais, como o bagaço de cervejarias. Com relação ao mercado atual de biocombustíveis no Brasil, os mais utilizados são o etanol e o biodiesel, mas alguns aterros sanitários estão produzindo o biogás como fonte de energia limpa.

Na atual conjuntura brasileira dos biocombustíveis, os principais desafios estão relacionados a conversão eficiente das matérias-primas lignocelulósicas em açúcares fermentescíveis e a busca por microrganismos capazes de fermentar além da glicose outros carboidratos, para então, reduzir o custo de produção. Sendo assim, microrganismos geneticamente modificados estão sendo estudados em escala laboratorial para atender a crescente demanda por energia renovável.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, R.; SILVA, I. C. **O Papel dos Microorganismos no Futuro dos Biocombustíveis**. Instituto nacional da propriedade industrial, 2011, p. 36.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Superintendência de Refino, Processamento de Gás Natural e Produção de Biocombustíveis**, 2014. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/?pg=64690&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1364414423241>>. Acesso em: 14 abr. 2015.
- ATTAR, Y.; MHETRE, S. T.; SHAWALE, M. D. Biogas production enhancement by cellulolytic strains of Actinomycetes. **Biogas Forum I**, v. 72, p. 11–5, 1998.
- BAEYENS, J.; KANG, Q.; APPELS, L.; DEWIL, R.; LV, Y.; TAN, T. Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 47, p. 60-88, 2015.
- BHARTI, R. K.; SRIVASTAVA, S.; THAKUR, I. S. Extraction of extracellular lipids from chemoautotrophic bacteria *Serratia* sp. ISTD04 for production of biodiesel. **Bioresource Technology**, v. 165, p. 201–204, 2014.
- ČATER, M.; FANEDL, L.; MALOVRH, Š.; LOGAR, R.M. Biogas Production from Brewery Spent Grain Enhanced by Bioaugmentation with Hydrolytic Anaerobic Bacteria, **Bioresource Technology**, v. 186, p. 261-269, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.029>>. Acesso em: mar 2015.
- CARDINALI-REZENDE, J.; COLTURATO, L. F.; COLTURATO, T. D.; CHARTONE-SOUZA, E.; NASCIMENTO, A. M.; SANZ, J. L. Prokaryotic diversity and dynamics in a full-scale municipal solid waste anaerobic reactor from start-up to steady-state conditions. **Bioresource Technology**, v. 119, p. 373–383, 2012
- CHAGAS, A. L. S. **Economia de baixo carbono: avaliação de impactos de restrições e perspectivas tecnológicas**. Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono. Ribeirão Preto, SP, 2012. 145 p.
- DHADSE, S.; KANKAL, N. C.; KUMARI, B. Study of diverse methanogenic and non-methanogenic bacteria used for the enhancement of biogas production. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**, v. 1, p. 176-191, 2012
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis**. Ministério de Minas e Energia, 2012, 49 p.
- FÁVARO, L. C. L. Melhoramento genético de microrganismos para produção de biocombustíveis e químicos renováveis: integração de abordagens de biologia molecular, biologia sistêmica, biologia sintética e engenharia metabólica. **Agroenergia em Revista**, n. 5, p. 4, 2012.

GAO, D.; ZENG, J.; ZHENG, Y.; YU, X.; CHEN, S. Microbial lipid production from xylose by *Mortierella isabelina*. **Bioresource Technology**, v. 133, p. 315–321, 2013

HUFFER, S.; ROCHE, C. M.; BLANCH, H.W.; CLARK, D. S. *Escherichia coli* for biofuel production: bridging the gap from promise to practice. **Trends in Biotechnology**, v. 30, n. 10, p. 8, 2012.

JANG, Y.; PARK, J. M.; CHOI, S.; CHOI, Y. J.; SEUNG, D.Y.; CHO, J. H.; LEE, S. Y. Engineering of microorganisms for the production of biofuels and perspectives based on systems metabolic engineering approaches. **Biotechnology Advances**, v. 30, p. 989–1000, 2012.

LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. **O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 59-100, 2008.

LIMAYEMA, A.; RICKE, S.C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 38, p. 449-467, 2012.

MARTINS, D. S.; ASSIS, E. G. **Estudo de viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma Granja de perus**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27, 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR590444_9790.pdf>. Acesso: 10 abr. 2015.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. São Carlos, USP. 98p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica) - Universidade de São Paulo, 2009.

PALUDO, G. B. Microrganismos geneticamente modificados e sua relação com o aumento na produção de biocombustíveis. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 10, n. 18, 2014.

RASIT, N.; IDRIS, A.; HARUN, R.; GHANI, W. A. W. A. K. Effects of lipid inhibition on biogas production of anaerobic digestion from oily effluents and sludges: An overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 2015, v. 45, p. 351–358.

SAUER, I. **Biocombustíveis no Brasil: Comercialização e logística**. 2008, p. 35-59. Disponível em: <http://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/NovaDelhi/pt-br/file/Biocombustiveis_03-biocombustiveisnobrasil.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

SCHLUTER, A.; BEKEL, T.; DIAZ, N. N.; et al. The metagenome of a biogas-producing microbial community of a production-scale biogas plant fermenter analysed by the 454-pyrosequencing technology. **Journal of Biotechnology**, v. 136, p. 77–90, 2008.

SEADI, T. A.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas Handbook**, University of Southern Denmark Esbjerg, Denmark, 2008, p. 41.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em um conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

SUNG, M.; SEO, Y. H.; HAN, S. JONG-IN HAN, S. J. *Biodiesel production from yeast *Cryptococcus sp.* using Jerusalem artichoke*. **Bioresource Technology**, v. 155, p. 77–83, 2014.

THLIVEROS, P.; KIRAN, E. U.; WEBB, C. *Microbial biodiesel production by direct methanolysis of oleaginous biomass*. **Bioresource Technology**, v. 157, p. 181–187, 2014.

TIRUMALE, S.; NAND, K. *Influence of anaerobic cellulolytic bacterial consortia in the anaerobic digesters on biogas production*. **Biogas Forum III**, v. 58, p. 12–5, 1994.

TUESORN, S.; WONGWILAIWALIN, S.; CHAMPREDA, V.; LEETHOCHAWALIT, M.; NOPHARATANA, A.; TECHKARNJANARUK, S.; CHAI PRASERT, P. *Enhancement of biogas production from swine manure by a lignocellulolytic microbial consortium*. **Bioresource Technology**, v. 144, p. 579–586, jul. 2013.

VICENTE, G.; L. BAUTISTA, F.; RODRIGUEZA, R.; GUTIERREZA, F. J.; IRANTZU SADABA, I.; VAZQUEZ, R. M. R.; MARTINEZ, S. T.; GARRE, V. *Biodiesel production from biomass of an oleaginous fungus*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 48, p. 22–27, 2009.

YAHYA, P. P. P.; ZHANG, F.; CARDAYRE, S. B.; KEASLING, J. D. *Microbial engineering for the production of advanced biofuels*. **Nature**, v. 488, p. 9, 2012.

ZHENG, J.; TASHIRO, Y.; WANG, Q.; SONOMOTO, K. *Recent advances to improve fermentative butanol production: Genetic engineering and fermentation technology*. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 119, n. 1, p. 9, 2015.