



Centro Clima

CENTRO DE ESTUDOS INTEGRADOS SOBRE
MEIO AMBIENTE E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

**Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050:
Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano
Governamental**

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

Apoio:

Instituto Clima e Sociedade (ICS)

WWF – Brasil



PROJETO IES-Brasil – 2050

**Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e
Mudanças Climáticas
(Centro Clima/COPPE/UFRJ)**

**Cenário de Emissão de GEE - 2050
Setor Agrícola**

(Demanda de Energia)

Relatório Técnico

Autores

Mariana Weiss de Abreu e Amaro Olímpio Pereira Jr.

Emissão de Gases de Efeito Estufa – 2050: Implicações Econômicas e Sociais do Cenário de Plano Governamental

CENTRO CLIMA/COPPE/UFRJ

COORDENAÇÃO GERAL

Emilio Lèbre La Rovere

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

Carolina Burle Schmidt Dubeux

MODELAGEM MACROECONÔMICA

William Wills (coordenador)

Julien Lefèvre

Carolina Grottera

Setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU)

Carolina B.S. Dubeux (coordenadora)

Michele Karina Cotta Walter

Ana Maria Rojas Méndez

Isabella da Fonseca Zicarelli

Setor Energético

Amaro Olímpio Pereira Junior
(coordenador)

Sergio Henrique Ferreira da Cunha

Gabriel Castro

Mariana Weiss de Abreu

Setor Industrial

Amaro Olímpio Pereira Junior
(coordenador)

Felipe Santos C.B. Santos

Carolina B.S. Dubeux

Setor de Resíduos

Carolina B.S. Dubeux

Angéli Viviani Colling

Setor de Transporte

Márcio de Almeida D'Agosto
(coordenador)

Daniel Neves Schmitz Gonçalves
*(Laboratório de Transporte
de Carga – LTC/COPPE/UFRJ)*

Luiza Di Beo Oliveira

Integração dos Modelos Energéticos de Demanda

Claudio Gesteira

Colaboração

Daniel Oberling

Saulo Machado Loureiro

Assistente de Coordenação

Isabella da Fonseca Zicarelli

Apoio

Carmen Brandão Reis

Elza Ramos

Sumário

1. Objetivo.....	1
2. Apresentação do Setor	2
3. Metodologia	5
4. Descrição da modelagem	6
4.1. Fórmulas	6
4.2. Dados utilizados.....	7
4.3. Hipóteses	9
5. Resultados obtidos após iteração com IMACLIM	12
6. Prospecção tecnológica para cenários de mitigação	18
7. Referências bibliográficas	20

Tabelas

Tabela 1.	Consumo Final Energético no Setor Agropecuário - 2005.	2
Tabela 2.	Emissões de GEE do Setor Agropecuário - 1990-2010.	4
Tabela 3.	Participação do Biodiesel no Diesel (mistura em volume - m ³) – 2005-2050.	11
Tabela 4.	Estimativas do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agropecuário por Fonte Energética – CPG - 2005-2050.	13
Tabela 5.	Distribuição Percentual de Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agrícola por Usos Finais e Equipamentos – CPG - 2005-2050.	13
Tabela 6.	Distribuição Percentual de Consumo de Energia (mil tep) do Setor Pecuário por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050.....	14
Tabela 7.	Emissões Totais (MtCO ₂ e) do Setor Agropecuário no CPG por Fonte Energética– 2005-2050.....	17

Figuras

Figura 1.	Participação dos Usos Finais no Consumo Final Energético no Setor Agropecuário por Fontes Energéticas.	3
Figura 2.	Participação das Fontes Energéticas no Consumo Final Energético no Setor Agropecuário por Usos Finais - 2005.	3
Figura 3.	Evolução da Área Plantada - 2005-2050.	8
Figura 4.	Evolução do Rebanho Bovino - 2005-2050.	9
Figura 5.	Evolução da Taxa de Lotação do Setor Pecuário - 2010-2050.	10
Figura 6.	Evolução da Produtividade Culturas do Setor Agrícola - 2010-2050.....	11
Figura 7.	Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agropecuário por Fontes Energéticas – CPG - 2005-2050.	12
Figura 8.	Evolução do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agrícola por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050.	14
Figura 9.	Evolução do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Pecuário por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050.	15
Figura 10.	Evolução do Consumo Médio de Energia por Hectare de Área Plantada do Setor Agrícola – CPG – 2015-2050.	16
Figura 11.	Evolução do Consumo Médio de Energia por Cabeça de Gado do Setor Pecuário – CPG – 2015-2050.	16

Setor Agropecuário

1. Objetivo

Neste relatório são apresentados os resultados do Cenário de Plano Governamental (CPG) para o setor agropecuário, no que tange às estimativas da evolução do seu consumo de energia e de suas respectivas emissões de gases de efeito estufa (GEE), até o ano de 2050. Posteriormente, serão apresentadas algumas tecnologias que ao serem adotadas podem auxiliar no aumento da eficiência energética e na mitigação de gases de efeito estufa.

Estas estimativas serviram de insumo para o modelo de equilíbrio geral utilizado neste estudo – o IMACLIM-BR. Este modelo representa a estrutura da economia brasileira e seus inúmeros fluxos energéticos, auxiliando na construção de cenários otimizados que permitam analisar os efeitos de políticas de mitigação no crescimento econômico e desenvolvimento social, em um dado horizonte de tempo.

Por trabalhar com os fluxos monetários e os fluxos energéticos de uma economia, a estrutura do IMACLIM-BR se assemelha a uma matriz insumo-produto híbrida. Como o IMACLIM-BR e os modelos setoriais necessitam apresentar anos base iguais, optou-se pela utilização do ano base 2005, dado que são referentes a este ano os últimos resultados relativos à matriz insumo-produto brasileira divulgados pelo IBGE.

2. Apresentação do Setor

O setor agropecuário inclui diversas atividades, sendo as principais: agricultura, pecuária bovina, suinocultura, avicultura, silvicultura e extrativismo. Em 2005, o consumo de energia pelo setor correspondeu a 5,1% do total consumido no país¹ e a estimativa é que essa parcela seja reduzida para 4,1% em 2050, de acordo com o PNE 2050 (EPE, 2014a). Percebe-se que, frente a outros setores, a participação relativa do setor agropecuário na demanda de energia é baixa, superando apenas os setores comercial e público e tendendo a cair nas próximas décadas, embora apresente crescimento em termos absolutos.

Ao final do ano de 2005, o Setor Agropecuário Brasileiro havia acumulado um consumo energético anual total de 8.358 mil tep (Tabela 1). O óleo diesel seguido da lenha e da eletricidade foram as fontes energéticas mais utilizadas pelos brasileiros naquele ano. Como em 2005 ainda não havia lei regularizando a participação do biodiesel no diesel, este consumo era relativo apenas ao consumo de diesel fóssil.

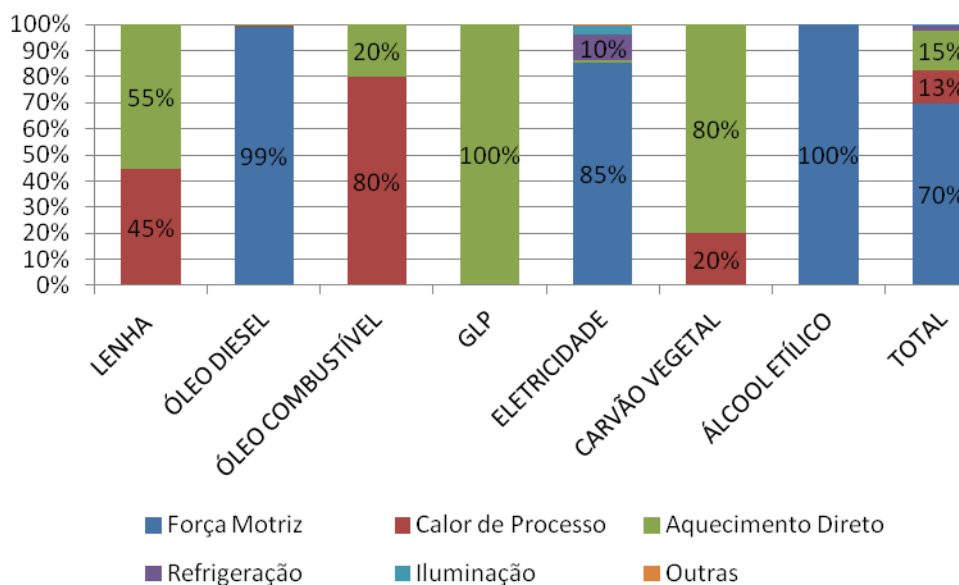
Tabela 1. Consumo Final Energético no Setor Agropecuário - 2005

Fonte	Consumo (10 ³ tep)	Participação Percentual (%)
Eletricidade	1.349	16,14%
Óleo Diesel	4.734	56,64%
Óleo Combustível	64	0,77%
GLP	23	0,28%
Lenha	2.178	26,06%
Carvão Vegetal	6	0,07%
Álcool Hidratado	3	0,04%
Total	8.358	100,00%

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2013)

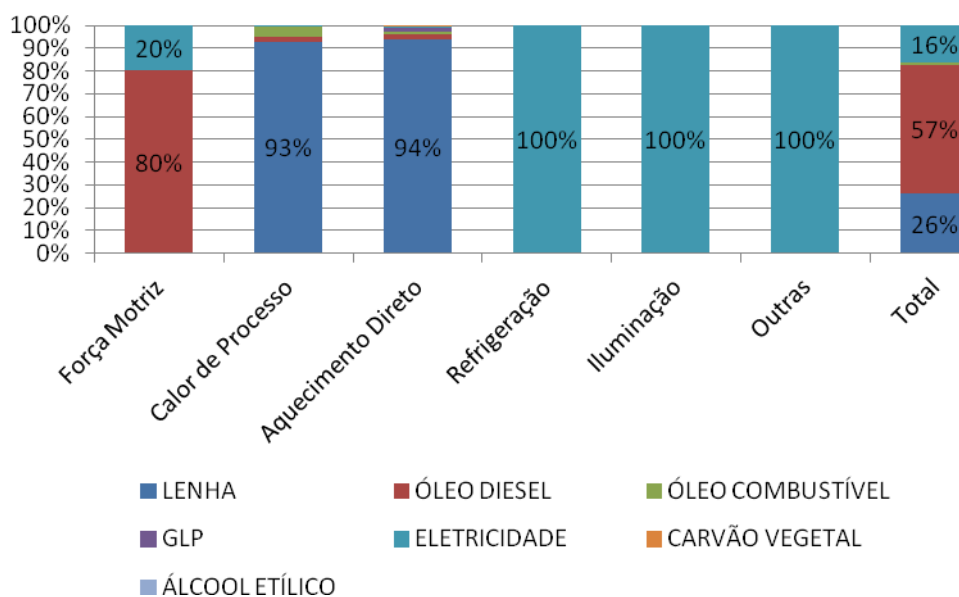
Segundo Balanço de Energia Útil (MME, 2005), 70% do consumo de energia do Setor Agropecuário são destinados para atender ao uso final Força Motriz, com destaque para os tratores a óleo diesel e para maquinário elétrico, dentre destes os sistemas de irrigação. Aquecimento Direto é o uso final responsável pelo segundo maior consumo de energia no setor agropecuário (15%), principalmente devido ao uso de fornos e secadores alimentados à lenha. Em seguida, vem o uso final calor de processo que responde por 13% do consumo de energia do setor agropecuário, sobretudo devido à utilização de caldeiras a lenha. Estas informações estão disponíveis na Figura 1 e na Figura 2.

¹Exclusivo setor energético.



Fonte: Elaboração Própria a partir de BEU (MME, 2005)

Figura 1. Participação dos Usos Finais no Consumo Final Energético no Setor Agropecuário por Fontes Energéticas



Fonte: Elaboração Própria a partir de BEU (MME, 2005)

Figura 2. Participação das Fontes Energéticas no Consumo Final Energético no Setor Agropecuário por Usos Finais - 2005

Com relação às emissões (Tabela 2), o Setor Agropecuário emitiu diretamente 15,720 MtCO₂e em 2005 com a queima de combustíveis fósseis (GLP, Óleo Diesel e Óleo Combustível) e de biomassa

(lenha, álcool hidratado e carvão vegetal), segundo dados do III Inventário Brasileiro de Emissões (MCTI, 2015).

Tabela 2. Emissões de GEE do Setor Agropecuário - 1990-2010.

Setor Agropecuário	1990	2000	2005	2010
	Mt CO ₂ e			
CO ₂	9,846	14,152	14,964	17,346
CH ₄	0,541	0,338	0,446	0,517
N ₂ O	0,229	0,254	0,296	0,353
Total	10,616	14,742	15,706	18,215

Fonte: Elaboração Própria com base em MCTI (2015)

Nota: não inclui emissões da geração termelétrica

Ressalta-se que o presente capítulo apresenta valores também para as emissões da geração de eletricidade consumida pelo Setor Agropecuário. Essas emissões, entretanto, são consideradas como indiretas, pois ocorrem, de fato, no Setor Energético. No cômputo geral do estudo, tais emissões e/ou abatimentos estão atribuídas somente ao Setor Energético, evitando-se assim, dupla contagem.

3. Metodologia

Primeiramente, optou-se por desagregar o Setor Agropecuário em dois subsetores: Setor Agrícola e Setor Pecuário com base nestas informações do Balanço de Energia Útil (MME, 2005). Assumiu-se que o Setor Pecuário apresentaria os usos finais Refrigeração, Iluminação e Outros Usos, consumindo apenas eletricidade. O setor Agrícola consumiria eletricidade e as demais fontes de energia para os usos finais força motriz, aquecimento direto, calor de processo, iluminação e outros usos.

A modelagem do Setor Agrícola apresenta uma abordagem do tipo *Top Down* com base na intensidade energética por hectare de área plantada² proposta pelo PNE 2050 (EPE, 2016), ao passo que a modelagem do Setor Pecuário se baseia na intensidade energética por cabeça do rebanho bovino também proposta pelo PNE 2050 (EPE, 2016) adaptada ao cenário macroeconômico considerado no Cenário de Plano Governamental (CPG) deste estudo. Ambas as modelagens foram construídas considerando os usos finais e as fontes energéticas utilizadas em cada um dos setores. Escolheu-se utilizar o programa paramétrico de simulação *Long-range Energy Alternatives Planning System* (HEAPS, 2013). Conhecido como LEAP, este programa devido à sua estrutura, facilita a organização e a realização de estudos de demanda de energia complexos, que envolvem a construção de cenários.

² Área Plantada de Cana, Soja, Milho de 1ª e 2ª Geração e Outros Grãos.

4. Descrição da modelagem

A modelagem do Setor Agrícola e do Setor Pecuário visa estimar como se dará a evolução do consumo de energia das famílias de 2005 a 2050, de acordo com os seis principais usos finais: iluminação, refrigeração de alimentos, aquecimento de água, condicionamento de ambiente, cocção e outros usos.

4.1. Fórmulas

A metodologia de JANUZZI & SWISHER (1997) foi adaptada para a modelagem do setor agropecuário. Na Equação 1 e na Equação 2, é possível vislumbrar como foi estimado o cálculo da demanda final total anual de energia direta para o Setor Agrícola (E_A):

$$E_A = \sum_{i=1}^{i=n} E_A^i \quad (1)$$

Em que E_A^i = consumo específico médio do uso final i no Setor Agrícola;

i = iluminação, aquecimento de água; calor de processo; cocção de alimentos; outros usos.

Sendo o consumo específico médio do uso final i no Setor Agrícola (E_A^i) calculado do seguinte modo:

$$E_A^i = \sum_{j=1}^{j=n} AP \cdot U^j \cdot P_i^j \cdot Ef_i^j \cdot I_i^j \quad (2)$$

Em que AP = Área Plantada;

U^j = Participação do uso final i no consumo de Energia Total de Energia do Setor Agrícola (E_A);

P_i^j = Participação do uso final i atendida pela fonte energética j ;

Ef_i^j = Eficiência do atendimento do uso final i apela fonte energética j ;

I_i^j = Intensidade de energia útil por hectare de Área Plantada AP .

j = GLP, Óleo Diesel, Óleo Combustível, Lenha, Álcool Hidratado, Carvão Vegetal e Eletricidade

Já a Equação 3 e na Equação 4 demonstram a metodologia utilizada para o cálculo da demanda final total anual de energia direta para o Setor Pecuário (E_P):

$$E_P = \sum_{i=1}^{i=n} E_P^i \quad (3)$$

Em que E_P^i = consumo específico médio do uso final i no Setor Pecuário;

i = Iluminação, Refrigeração e Outros Usos.

Sendo o consumo específico médio do uso final i no Setor Pecuário (E_P^i) é calculado do seguinte modo:

$$E_P^i = \sum_{j=1}^{j=n} CB \cdot U^j \cdot P_i^j \cdot Ef_i^j \cdot I_i^j \quad (4)$$

Em que CB = Número de Cabeças de Gado Bovino;

U^j = Participação do uso final i no consumo de Energia Total de Energia do Setor Pecuário (E_P);

P_i^j = Participação do uso final i atendida pela fonte energética j ;

Ef_i^j = Eficiência o atendimento do uso final i apela fonte energética j ;

I_i^j = Intensidade de energia útil por cabeça do rebanho bovino CB.

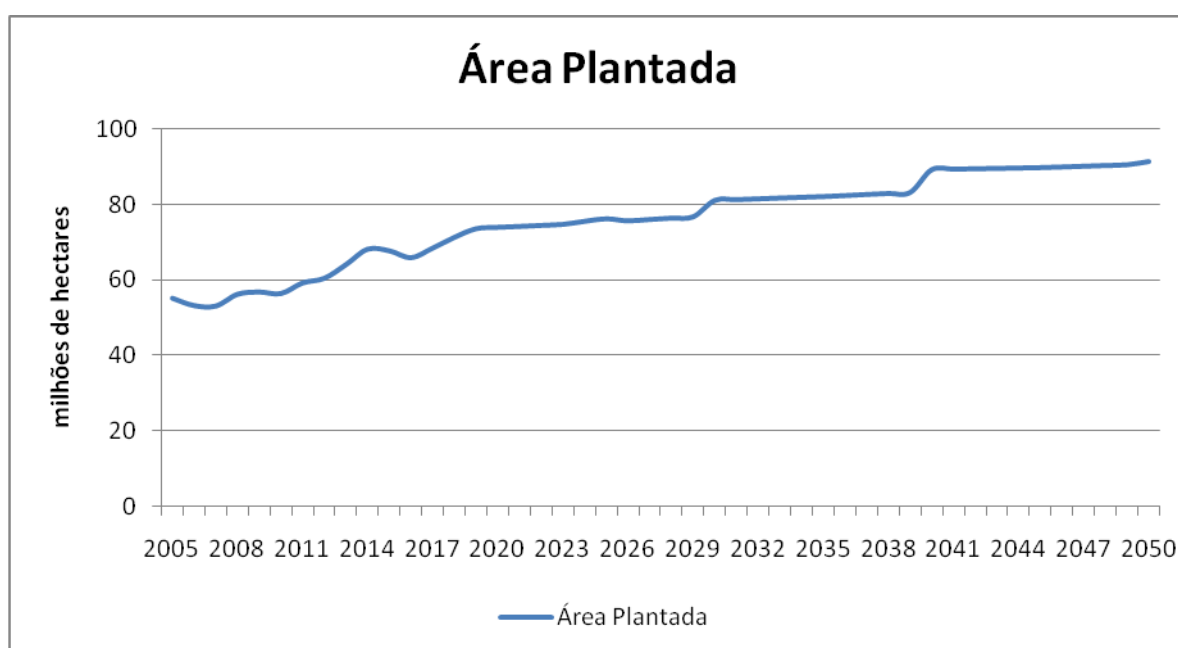
j = Eletricidade

4.2. Dados utilizados

Os dados de participação do uso final i no consumo de Energia Total de Energia do Setor Agrícola e do Setor Pecuário, bem como as eficiências de atendimento do uso final pela fonte energética, foram extraídos do Balanço de Energia Útil (MME, 2005).

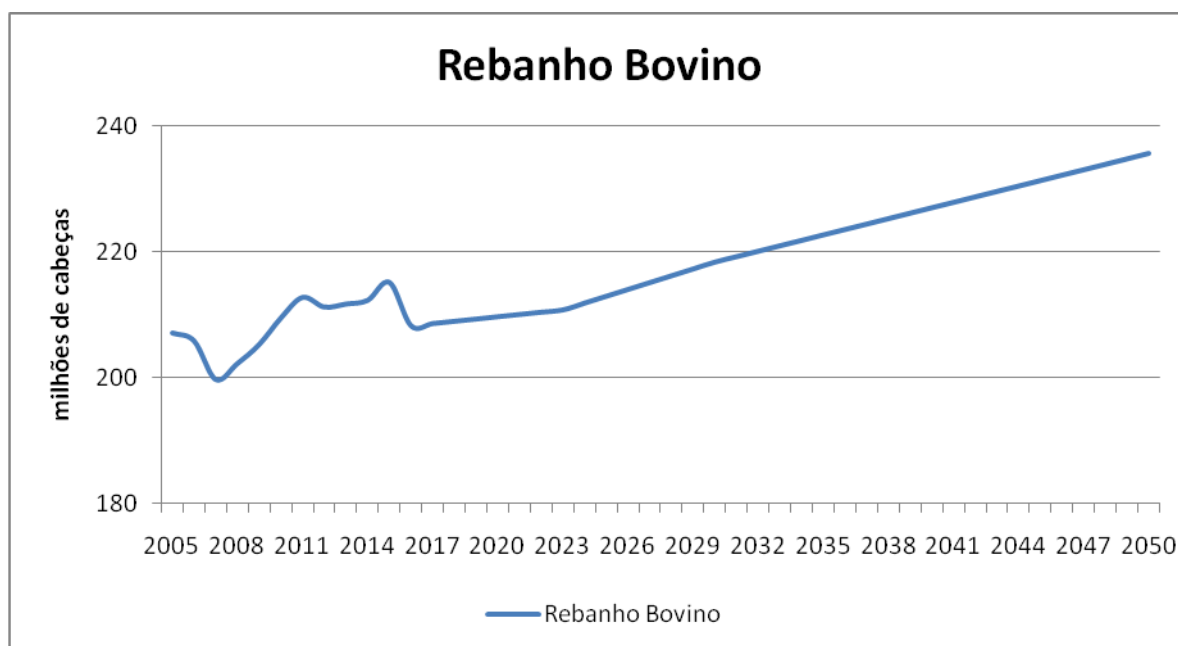
Estes dados foram escolhidos pelo fato de serem disponibilizados pela EPE juntamente com os dados de consumo de energia do setor Agropecuário, possibilitando o cálculo da intensidade energética por hectare ou por cabeça de gado.

O número de cabeças do rebanho bovino e a área plantada de cana, soja, milho de 1ª e 2ª Geração e outros grãos foram estimadas pela equipe do Projeto IES com base em dados do IBGE, UNICA e na evolução do PIB projetada pela equipe macroeconômica. Estas projeções se mostraram significativamente menores às estimadas pela EPE, devido ao projeto IES Brasil estar adotando uma taxa média de crescimento do PIB para o período inferior à considerada no PNE 2050 (EPE, 2016). A Área Plantada e o número de cabeças do rebanho bovino considerados no Projeto IES Brasil são respectivamente 33% e 23% inferiores aos valores projetados pela EPE para 2050. As evoluções da Área Plantada e do número de cabeças do rebanho bovino considerados no Projeto IES Brasil são expostas na Figura 3 e na Figura 4.



Fonte: Elaboração Própria

Figura 3. Evolução da Área Plantada - 2005-2050



Fonte: Elaboração Própria

Figura 4. Evolução do Rebanho Bovino - 2005-2050

4.3. Hipóteses

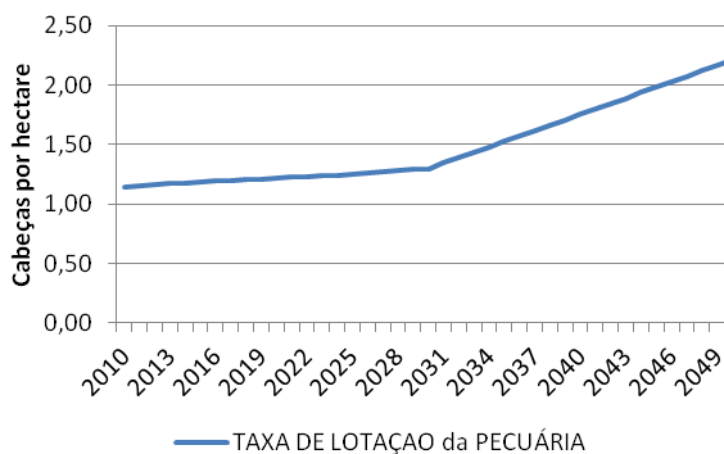
Nesta modelagem, assumiram-se as hipóteses consideradas no PNE 2050 (EPE, 2016) para a construção do cenário para o consumo de energia do setor agropecuário ao longo do período 2005-2050. Assim como no cenário do PNE 2050, o CPG do presente estudo pressupõe que o setor agropecuário crescerá a uma taxa maior que a taxa média de crescimento do PIB. Este crescimento do setor agropecuário pode ser explicado pela manutenção da grande participação dos produtos agropecuários nas exportações colaborando para o equilíbrio ou até mesmo para resultados positivos na balança comercial brasileira. Este cenário traz uma série de vantagens comparativas segundo a EPE (2016):

- Liderança do setor agropecuário nacional em comparações internacionais;
- Maior participação dos estudos de tecnologia e inovação com o desenvolvimento da agroindústria;
- Alavancagem da cultura de cana com a ampliação do uso do etanol combustível e com o estímulo à “química verde”, na qual o Brasil tem condições de liderança;
- Crescimento da área plantada em substituição as áreas disponibilizadas pela intensificação da pecuária;

- Perspectiva de evolução do consumo per capita de alimentos no Brasil e no mundo, tendo o país grande participação no mercado internacional;

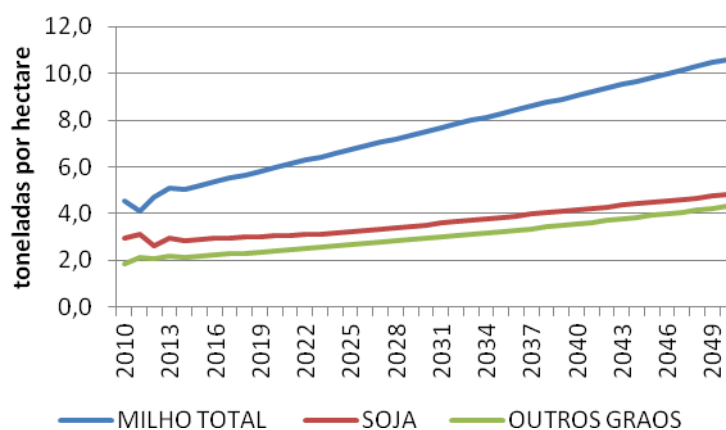
Assumiu-se como premissa do CPG o aumento da mecanização de culturas (em especial, na produção de cana-de-açúcar), aumento do grau de cobertura da irrigação, ampliação da produtividade agrícola e aumento do grau de intensificação da pecuária. A produtividade agrícola a ser obtida no período 2013-2050, permitirá expandir a área plantada em menor proporção do que a expansão da produção física demandada. O aumento da mecanização no setor agropecuário colabora com o aumento da intensidade energética, principalmente no que tange ao consumo de eletricidade para força motriz e outros usos devido ao maior uso de equipamentos eletrônicos na agropecuária.

A Figura 5 e a Figura 6 trazem informações sobre a evolução da taxa de lotação do setor pecuário e a evolução da produtividade de culturas do setor agrícola consideradas na construção do CPG. O PNE 2050 (EPE, 2016) destaca que a intensificação da pecuária resulta em uma maior oferta de terras ao setor agrícola até 2050. Além disso, o PNE 2050 (EPE, 2016) ressalta que, apesar do aumento da intensificação da pecuária, esta continuará a ser classificada como extensiva em 2050 devido ao fator de lotação de 2,2 cabeças/hectare.



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do PNE 2050 (EPE, 2016)

Figura 5. Evolução da Taxa de Lotação do Setor Pecuário - 2010-2050



Fonte: Elaboração Própria a partir de dados do PNE 2050 (EPE, 2016)

Figura 6. Evolução da Produtividade Culturas do Setor Agrícola - 2010-2050

Desta forma, foi mantida fixa a intensidade de energia final por hectare de área plantada de 0,155 tep/ha verificada no ano de 2015, segundo dados de consumo de energia do Balanço Energético Nacional. A explicação para isso é o aumento da produtividade da atividade agrícola que obtém uma produção física maior com uma menor área plantada. Já a intensidade de energia final por cabeça de gado passa de 0,0011 tep/cabeça em 2005 para 0,0015 tep/cabeça em 2050 devido à disseminação da prática de gado confinado e à maior mecanização na pecuária.

Por fim, haverá uma substituição progressiva da lenha pelo GLP no Aquecimento direto e por Diesel e Eletricidade para o uso final Calor de Processo. Além disso, é importante destacar a participação do biodiesel no diesel consumido principalmente para o uso final força motriz na agricultura que aumenta de 2% em 2008 para 18% em 2050.

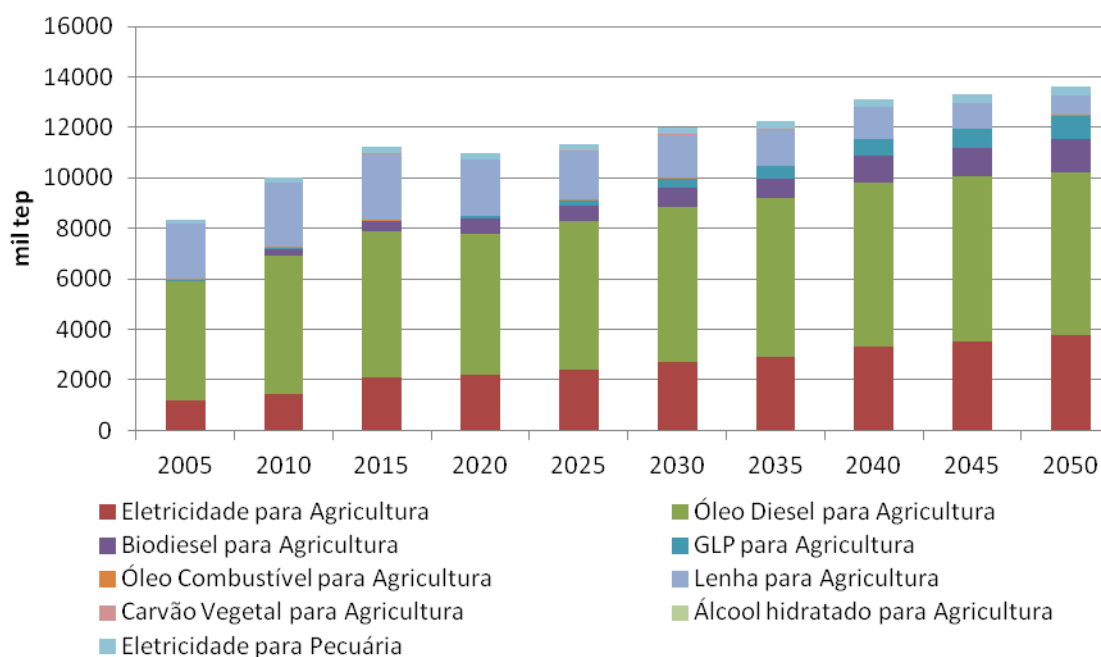
Tabela 3. Participação do Biodiesel no Diesel (mistura em volume - m³) – 2005-2050

Ano de Início	Todos os setores (exceto Setor Agrícola)	Setor Agrícola
2005	0%	0%
2008	2%	2%
2009	3%	3%
2010	5%	5%
2015	7%	7%
2017	8%	8%
2018	9%	9%
2019	10%	10%
2030	11%	12%
2040	13%	15%
2050	15%	18%

5. Resultados obtidos após iteração com IMACLIM

Nesta seção, estão apresentados os resultados encontrados através da modelagem feita no LEAP para estimar o CPG para o consumo de energia no Setor Agrícola e do Setor Pecuário para o período 2005-2050. Como dito anteriormente, o CPG estimado para este trabalho se baseia no cenário macroeconômico proposto neste estudo e as premissas de evolução do consumo de energia consideradas no PNE 2050 (EPE, 2016). Além disso, o CPG assume também ganhos de eficiência energética estimados com base no Balanço de Energia Útil (MME, 2005) .

Na Tabela 4 e na Figura 7, é possível ver como se comportaria, segundo o CPG estimado neste trabalho, o consumo de energia no Setor Agropecuário brasileiro no período 2005 - 2050 por fontes energéticas. Ao longo do horizonte 2005-2050 contemplado, o consumo de energia cresce 63%, com destaque para o consumo de energia elétrica que foi mais do que triplicado durante o período de análise.



Fonte: IES-Brasil (2016)

Figura 7. Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agropecuário por Fontes Energéticas – CPG - 2005-2050

Tabela 4. Estimativas do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agropecuário por Fonte Energética – CPG - 2005-2050

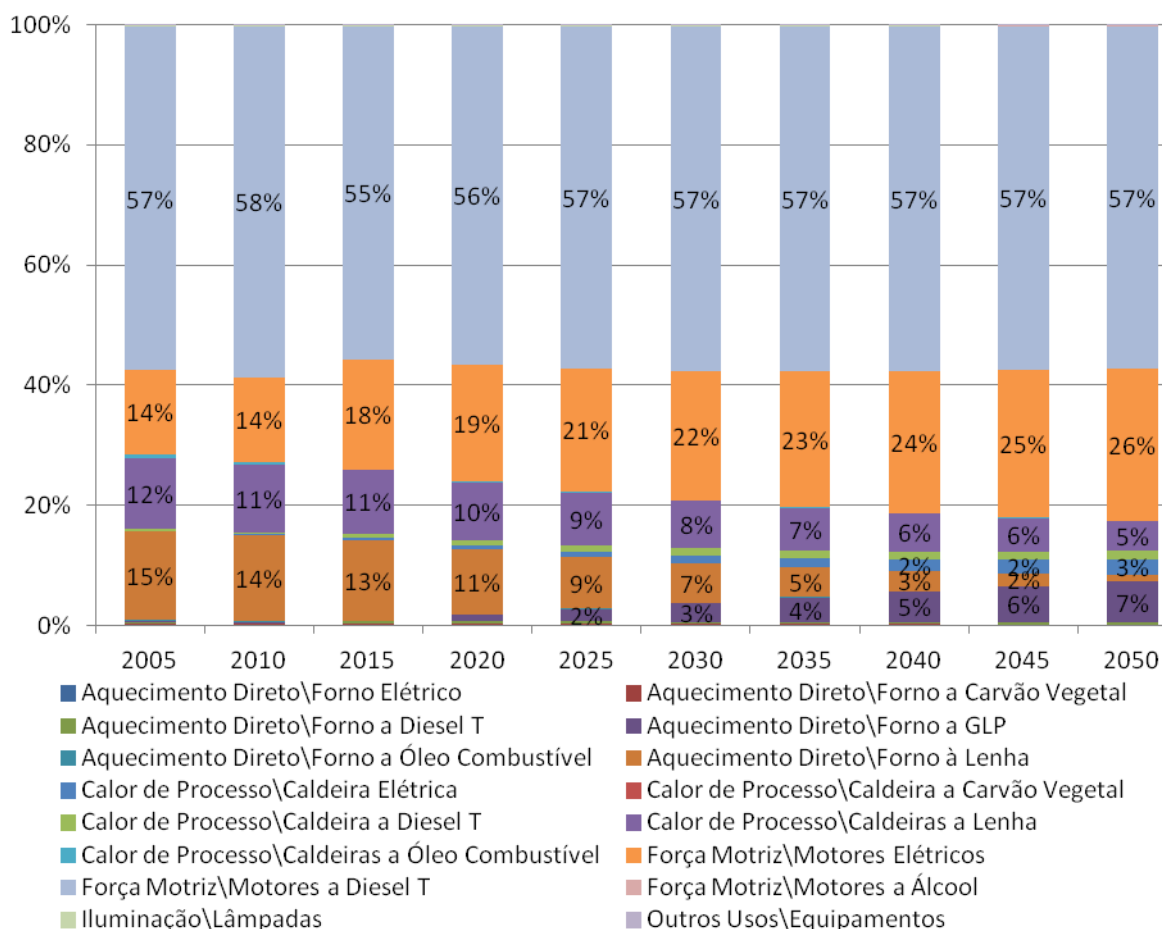
Fontes Energéticas	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Setor Agrícola	8.196	9.822	10.985	10.741	11.076	11.741	11.938	12.819	12.981	13.290
Eletricidade	1.188	1.424	2.089	2.200	2.426	2.733	2.939	3.322	3.528	3.775
Óleo Diesel	4.734	5.519	5.804	5.603	5.849	6.117	6.244	6.496	6.563	6.461
Biodiesel	0	254	410	581	607	779	795	1.066	1.077	1.323
GLP	23	8	0	111	228	361	484	642	769	905
Óleo Combustível	64	77	21	20	21	22	22	24	24	24
Lenha	2.179	2.524	2.628	2.195	1.917	1.701	1.428	1.243	995	777
Carvão Vegetal	6	8	22	18	16	14	12	11	9	7
Álcool hidratado	3	8	12	12	13	14	14	16	17	17
Setor Pecuário	161	206	237	245	259	276	292	309	326	343
Eletricidade	161	206	237	245	259	276	292	309	326	343
Total do Setor Agropecuário	8.358	10.028	11.222	10.985	11.335	12.017	12.231	13.128	13.307	13.633

Fonte: IES-Brasil (2016)

Já na Tabela 5 e na Figura 8, podemos visualizar como se comportaria, segundo o CPG estimado neste trabalho, o consumo de energia no Setor Agrícola de 2005 a 2050, de acordo com os usos finais e os equipamentos específicos.

Tabela 5. Distribuição Percentual de Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agrícola por Usos Finais e Equipamentos – CPG - 2005-2050.

Usos Finais e Equipamentos	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Aquecimento Direto	15.7%	15.1%	14.2%	12.6%	11.3%	10.3%	9.6%	9.1%	8.7%	8.4%
Forno Elétrico	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Forno a Carvão Vegetal	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Forno a Diesel T	0.3%	0.2%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
Forno a GLP	0.3%	0.1%	0.0%	1.0%	2.1%	3.1%	4.1%	5.0%	5.9%	6.8%
Forno a Óleo Combustível	0.2%	0.3%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Forno à Lenha	14.7%	14.4%	13.4%	10.8%	8.5%	6.6%	4.9%	3.4%	2.1%	1.0%
Calor de Processo	12.8%	12.1%	11.8%	11.4%	10.9%	10.4%	10.0%	9.6%	9.2%	8.9%
Caldeira Elétrica	0.0%	0.0%	0.3%	0.7%	1.0%	1.3%	1.6%	2.0%	2.3%	2.6%
Caldeira a Carvão Vegetal	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Caldeira a Diesel T	0.2%	0.3%	0.8%	0.9%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%	1.4%	1.4%
Caldeiras a Lenha	11.9%	11.3%	10.5%	9.6%	8.8%	7.9%	7.1%	6.3%	5.5%	4.8%
Caldeiras a Óleo Combustível	0.6%	0.5%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%
Força Motriz	71.2%	72.5%	73.7%	75.8%	77.6%	79.0%	80.2%	81.1%	81.9%	82.5%
Motores Elétricos	14.0%	14.1%	18.3%	19.4%	20.5%	21.6%	22.6%	23.6%	24.6%	25.5%
Motores a Diesel T	57.2%	58.3%	55.4%	56.3%	56.9%	57.3%	57.4%	57.4%	57.2%	56.8%
Motores a Álcool	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Iluminação	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Lâmpadas	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Outros Usos	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Outros Equipamentos	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%



Fonte: IES-Brasil (2016)

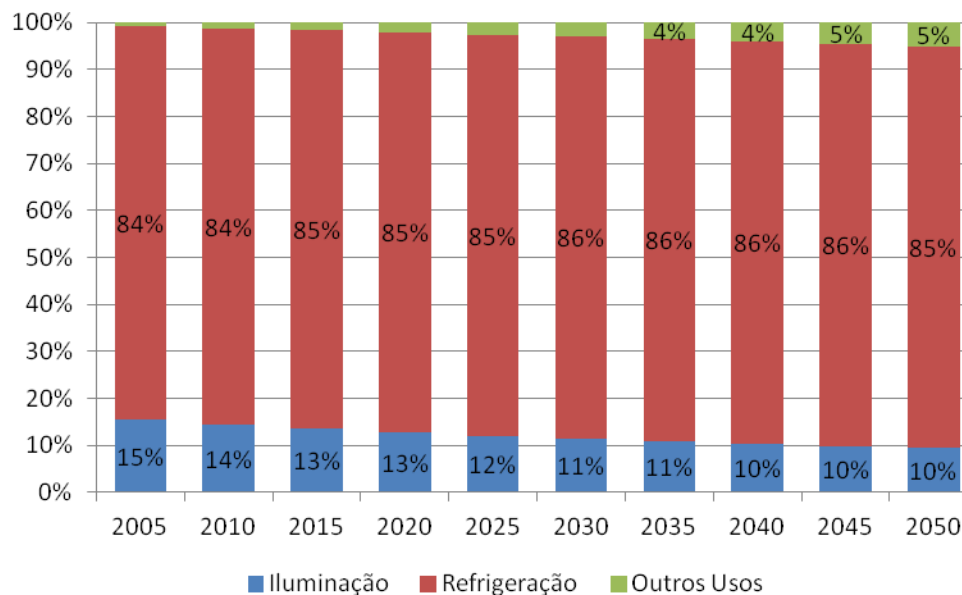
Figura 8. Evolução do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Agrícola por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050

Já na Tabela 6 e na Figura 9, podemos visualizar como se comportaria, segundo o CPG estimado neste trabalho, o consumo de energia no Setor Pecuário de 2005 a 2050, de acordo com os usos finais e os equipamentos específicos.

Tabela 6. Distribuição Percentual de Consumo de Energia (mil tep) do Setor Pecuário por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050

Usos Finais	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Iluminação	15%	14%	13%	13%	12%	11%	11%	10%	10%	10%
Refrigeração	84%	84%	85%	85%	85%	86%	86%	86%	86%	85%
Outros Usos	1%	1%	2%	2%	3%	3%	4%	4%	5%	5%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: IES-Brasil (2016)



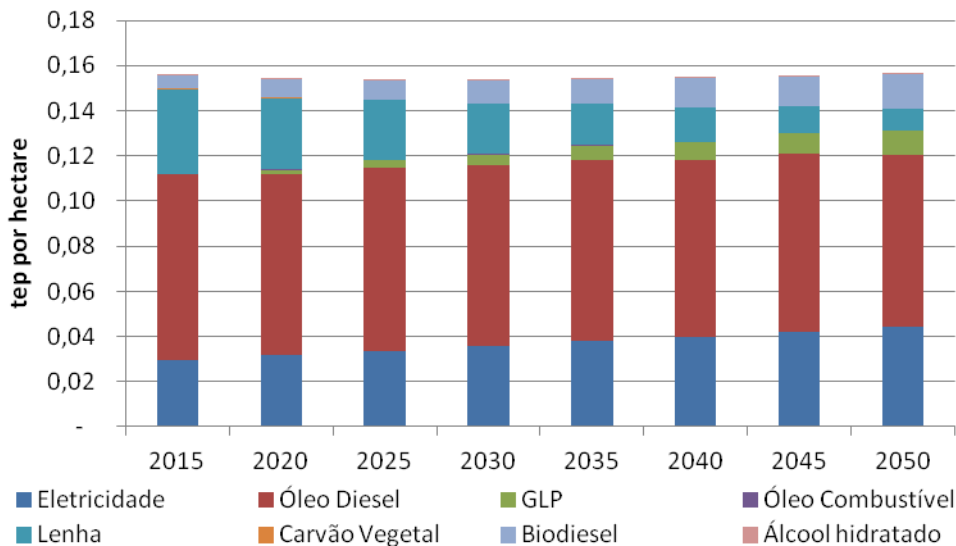
Fonte: IES-Brasil (2016)

Figura 9. Evolução do Consumo de Energia (mil tep) do Setor Pecuário por Usos Finais e Equipamentos – CPG – 2005-2050

É importante frisar que a modelagem conseguiu reproduzir a estrutura do consumo de energia total do Balanço Energético Nacional para os anos de 2005, 2010 e 2015 (Tabela 4), assim como se buscou adaptar para o CPG as premissas propostas no PNE 2050 (EPE, 2016) para evolução da estrutura do consumo de energético do setor agropecuário. Como o consumo de energia do setor Agropecuário é influenciado pela área plantada e pelo número de cabeças do rebanho que por sua vez são influenciados pelo crescimento do PIB e como este estudo considera um crescimento mais brando para o PIB ao longo do período 2005-2050 em comparação com o PNE 2050, o CPG resultou em um consumo de energia do setor agropecuário equivalente a 13.627 ktep em 2050. Esta projeção do consumo energético para o setor agropecuário é 38% menor do que o estimado pelo PNE 2050 para o mesmo ano.

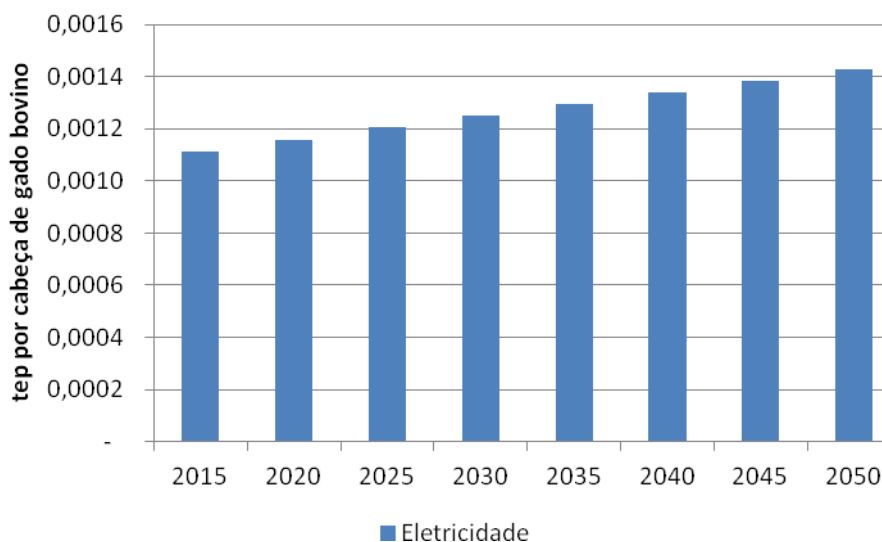
Ainda sobre os resultados do CPG, o consumo de energia médio por hectare no setor agrícola se manteve entre 2015 e 2050 aproximadamente fixo na ordem de 0,150 tep/ha, assim como foi proposto no PNE 2050 (EPE, 2016) (Figura 10). Apesar de consumo de energia médio por hectare no setor agrícola ter apresentado comportamento estável entre 2015 e 2050, é possível observar que houve mudanças na composição deste consumo, com aumento da participação do consumo de eletricidade, biodiesel e GLP frente a uma queda na participação do consumo de lenha e diesel puro (fóssil). Já, o setor pecuário apresentou ligeiro crescimento do consumo médio de eletricidade por

cabeça de gado bovino ao longo do período 2015 e 2050 principalmente devido ao aumento previsto da intensificação da pecuária ao longo do CPG (Figura 11).



Fonte: IES-Brasil (2016)

Figura 10. Evolução do Consumo Médio de Energia por Hectare de Área Plantada do Setor Agrícola – CPG – 2015-2050



Fonte: IES-Brasil (2016)

Figura 11. Evolução do Consumo Médio de Energia por Cabeça de Gado do Setor Pecuário – CPG – 2015-2050

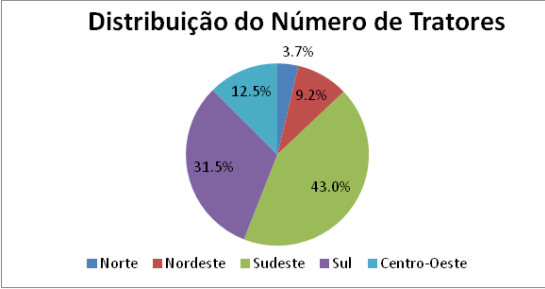
Por fim, na Tabela 7, é possível observar como evoluem as emissões de GEE referentes ao consumo de energia no Setor Agropecuário.

Tabela 7. Emissões Totais (MtCO₂e) do Setor Agropecuário no CPG por Fonte Energética– 2005-2050

Fonte Energética	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Eletricidade	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carvão Vegetal	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Biodiesel	-	-	0,014	0,023	0,027	0,032	0,034	0,044	0,057	0,057
Diesel	14,861	17,275	18,535	17,609	18,402	19,253	19,668	20,469	20,697	20,393
Óleo Combustível	0,207	0,256	0,044	0,066	0,068	0,072	0,073	0,077	0,077	0,079
Lenha	0,566	0,656	0,648	0,606	0,549	0,475	0,397	0,319	0,239	0,160
GLP	0,063	0,022	0,005	0,294	0,604	0,954	1,280	1,698	2,035	2,394
Etanol	0,000	0,000	0,008	0,010	0,012	0,013	0,014	0,016	0,017	0,019
Total	15,7	18,215	19,258	18,611	19,664	20,800	21,469	22,625	23,126	23,104
<i>Eletricidade</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Carvão Vegetal</i>	1,00	1,26	1,54	1,63	1,69	1,70	1,70	1,69	1,66	1,62
<i>Biodiesel</i>	*	*	1,00	1,64	1,86	2,22	2,40	3,07	3,99	3,99
<i>Diesel</i>	1,00	1,16	1,25	1,18	1,24	1,30	1,32	1,38	1,39	1,37
<i>Óleo Combustível</i>	1,00	1,23	0,21	0,32	0,33	0,35	0,35	0,37	0,37	0,38
<i>Lenha</i>	1,00	1,16	1,14	1,07	0,97	0,84	0,70	0,56	0,42	0,28
<i>GLP</i>	1,00	0,35	0,09	4,66	9,58	15,12	20,30	26,92	32,26	37,95
<i>Etanol</i>			1,00	1,00	1,16	1,30	1,44	1,60	1,75	1,90
Total	1,00	1,16	1,23	1,19	1,25	1,32	1,37	1,44	1,47	1,47

Fonte: IES-Brasil (2016)

6. Prospecção tecnológica para cenários de mitigação

SETOR	Agropecuário - Agricultura															
Unidade Principal	tep/ha/ano															
Nova Tecnologia																
Nome	Tratores a Biodiesel															
Descrição Geral	<p>Tratores a Biodiesel substituem os tratores a diesel. Estes podem ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tratores a Biodiesel de fontes tradicionais ▪ Tratores a Biodiesel de Cana <ul style="list-style-type: none"> ▪ De acordo com a localidade da produção 															
Método de Projeção	<p>Em abril de 2016, existiam aproximadamente 600 mil tratores no Brasil, estando 27% no Estado de São Paulo, 14% no Paraná e 11% em Minas Gerais.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Distribuição do Número de Tratores</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Região</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Norte</td> <td>12.5%</td> </tr> <tr> <td>Nordeste</td> <td>9.2%</td> </tr> <tr> <td>Sudeste</td> <td>3.7%</td> </tr> <tr> <td>Sul</td> <td>43.0%</td> </tr> <tr> <td>Centro-Oeste</td> <td>31.5%</td> </tr> </tbody> </table> </div>				Região	Porcentagem	Norte	12.5%	Nordeste	9.2%	Sudeste	3.7%	Sul	43.0%	Centro-Oeste	31.5%
Região	Porcentagem															
Norte	12.5%															
Nordeste	9.2%															
Sudeste	3.7%															
Sul	43.0%															
Centro-Oeste	31.5%															
Região	Região CO, SE e S															
Nível de utilização da tecnologia		Cen. Ref.	Nível mínimo	Nível Máximo												
	2020	10%		20%												
	2030	12%		30%												
	2040	15%		40%												
	2050	18%		50%												
Investimento (US\$/unidade) Data do câmbio: R\$ 2015	<p>Trator a diesel pode receber biodiesel sem adaptações.</p> <p>2016: 2020: 2030: 2040: 2050:</p>															
Elementos de custo	<ol style="list-style-type: none"> 1) Investimento inicial por propriedade: Possui o mesmo custo do trator a diesel convencional 2) Vida Útil: 3) Aumento do consumo de combustível: Há redução da eficiência do motor, logo trator a biodiesel consome mais combustível (de 18% a 26%) Litro biodiesel : R\$3,20 Litro Diesel: R\$2,00 a R\$3,50 															
Interrelação com outros setores	AFOLU															
Dificuldade de		Grau de	Barreiras	Instrumentos para superar barreiras												

penetração <i>Avaliação: 1= Baixa, 2= Média baixa, 3= Média alta, 4= Alta</i>		Dific.		
	Técnicas:	1	1	Tecnologia já consolidada.
	Econômicas:	1	1	
	Financeiras:	1	1	
	Político-institucionais:	1	1	
	Outras:			
Externalidades (em relação à baseline)	Ambientais: Reduz as emissões relativas ao uso força motriz no setor agropecuário, dado que as emissões de CO2 são compensadas na fotossíntese, além de reduzir a emissão de outros poluentes locais.			
	Sociais: Econômicos: Não há diferença de custo de investimento, somente de manutenção e de operação.			
Referências bibliográficas:	DDPP			
	http://www.biodieselbr.com/usinas/			
	http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n5/v12n05a18.pdf			
	http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/29/49			
	http://www.bibliotekevirtual.org/revistas/REVENG/v21n05/v21n05a03.pdf			
http://www.precodoscombustiveis.com.br/				

7. Referências bibliográficas

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Nota Técnica DEA 12/14 : Cenário Econômico 2050* . Série Estudos Econômicos. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2015-2024*. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Nota Técnica DEA 13/14 : Demanda de Energia 2050*. Série Estudos da Demanda de Energia. Rio de Janeiro: MME/EPE, 2016.

JANUZZI, G.; SWISHER, J.. *Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: meio ambiente, Conservação de energia e fontes renováveis*. Campinas: Autores Associados. 1997.

MME/FDTE. *Balanço de Energia Útil 2005*. Brasília: MME, 2005.