

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CONTABILIDADE EM EMERGIA DA
IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA LUZ
PARA TODOS NO ESTADO DO PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

JACIARA CARVALHO DE SOUSA OLIVEIRA

SÃO PAULO

2017

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**CONTABILIDADE EM EMERGIA DA
IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA LUZ
PARA TODOS NO ESTADO DO PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida

Área de Concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção

Linha de Pesquisa: Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial

Projeto de Pesquisa: Produção, produto e consumo sustentável: estratégias de avaliação.

JACIARA CARVALHO DE SOUSA OLIVEIRA

SÃO PAULO

2017

Oliveira, Jaciara Carvalho de Sousa.

Contabilidade em energia da implantação do programa luz para todos no estado do Piauí / Jaciara Carvalho de Sousa Oliveira. - 2017.

58 f. : il. color. + CD-ROM.

Dissertação de Mestrado Apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2017.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientadora: Prof.^a Dra. Cecília Maria Villas Bôas de Almeida.

1. Energia elétrica. 2. Energia. 3. Programa luz para todos. 4. PLpT.
I. Almeida, Cecília Maria Villas Bôas de (orientador). II. Título.

JACIARA CARVALHO DE SOUSA OLIVEIRA

**CONTABILIDADE EM EMERGIA DA
IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA LUZ
PARA TODOS NO ESTADO DO PIAUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.a Cecília Maria Villas Bôas de Almeida
Universidade Paulista – UNIP

Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho
Universidade Paulista – UNIP

Prof. Dr. Fernando Jorge Cutrim Demétrio
Universidade Estadual do Maranhão

DEDICATÓRIA

A Deus.

A minha mãe e minha madrinha, pelo apoio constante.

Aos meus irmãos e familiares, pelo acolhimento.

Ao meu namorado, pelo incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, minha madrinha, meus irmãos e minha família pelo apoio incondicional, ao meu namorado pela paciência a mim dedicada, aos professores que me ajudaram neste projeto, em especial a professora Cecília Maria Villas Bôas de Almeida, pela orientação e a paciência, à Faculdade Santo Agostinho pelo apoio, e a mim pela resiliência. “Obrigada Deus por me guiar, só em Ti tenho forças para lutar.”

RESUMO

Após o censo demográfico realizado no ano 2000 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, constatou-se um déficit no acesso à energia elétrica no Brasil. Para diminuir a exclusão social, o governo federal em 2003 implementa o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica (Programa Luz para Todos – PLpT). Esse programa tem um grande impacto socioeconômico, mas qual seria o custo ambiental da instalação da rede de eletrificação rural? Este trabalho tem como objetivo calcular o custo ambiental do processo de implantação do Programa Luz para Todos no estado do Piauí, bem como fazer o levantamento dos ativos implantados pelo programa. Serão realizados um estudo de caso na concessionária local e um levantamento do quantitativo de materiais e serviços empregados nesse processo. A ferramenta utilizada para o cálculo do custo ambiental será a contabilidade em energia. Entre os anos de 2004 e 2015 o número de consumidores aumentou cerca de 66% no estado do Piauí; no mesmo período foram realizadas um total de 151.900 ligações do PLpT. As classes de consumidores mais influenciadas pelo programa foram: a rural, que obteve um crescimento de cerca de 4% do investimento em energia; a residencial, que manteve seu investimento em energia praticamente constante no período estudado; e a comercial, que obteve o maior investimento entre as três classes. Observou-se também que o concreto, com aproximadamente 945,94% da energia total empregada no sistema, foi o que teve o maior custo ambiental entre os materiais que foram utilizados na implantação do PLpT.

Palavras-chaves: Energia Elétrica. Energia. Programa Luz para Todos. PLpT.

ABSTRACT

After the demographic census carried out in 2000 by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), it was found a shortfall in access to electricity in Brazil. To reduce social exclusion, the federal government in 2003 implemented the National Program for Universal Access and Use of Electricity (Light for All Program - PLpT). This program has a major socioeconomic impact, but how much would cost for the environment to install a rural electrification network? This paper aims to calculate the environmental cost of the implementation process of the Light for All Program in the state of Piauí, as well as to survey the assets of the assets implemented by the program. A case study will be carried out at the local concessionaire and a quantitative survey of materials and services applied in this process. The tool that will be used to calculate the environmental cost will be the accounting in energy. Between 2004 and 2015, the number of consumers increased by 66% in the state of Piauí, during the same period, a total of 151,900 PLpT connections were made. The classes of consumers that were most influenced by the program were: the rural, with which it obtained a growth rate of 4% of the investment in energy; the residential one that kept its investment in energy practically constant during the studied period; commercial, which obtained the largest investment among the three classes. It was also observed that the concrete, with approximately 945.94% of the total energy applied in the system, was the one that had the highest environmental cost among the materials that were used in PLpT implantation.

Keywords: Electricity. Energy. Light for All Program. PLpT.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada – Dezembro de 2016	14
Figura 2 – Taxa de eletrificação domiciliar no ano 2000 (por município).....	18
Figura 3 – Relação entre o consumo de energia elétrica no Brasil e no Piauí.....	30
Figura 4 – Evolução do consumo de energia elétrica por classe no Piauí.....	31
Figura 5 – Relação do consumo de energia elétrica (MWh) com o número de ligações do PLpT	33
Figura 6 – Evolução do consumo de energia elétrica por tipo de usuário (seJ/cliente)	34
Figura 7 – Evolução do consumo de energia elétrica das classes beneficiadas pelo PLpT (seJ/cliente).....	35
Figura 8 – Evolução das ligações do PLpT	36
Figura 9 – Emergia por material.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Símbolos para utilização nos diagramas em energia	26
Tabela 2 – Transformidades e UEVs utilizados neste trabalho (Base: 15,83E+24 seJ/ano)....	27
Tabela 3 – Evolução do consumo de energia elétrica por classe no Brasil (MWh)	29
Tabela 4 – Evolução do número de consumidores	32
Tabela 5 – Ativos instalados pelo PLpT	36
Tabela 6 – Lista de materiais utilizados na implantação do PLpT	37
Tabela 7 – Contabilidade ambiental em energia da implantação do PLpT no Piauí.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CDE – Conta de Desenvolvimento Energético

CEPISA – Companhia Energética do Piauí S.A.

CMSE – Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

CNAEE – Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNAE – Departamento Nacional de Águas e Energia

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EDPI – Eletrobras Distribuição Piauí

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

EYR – Relação de Rendimento em Energia

LCA – Life Cycle Analysis

MAE – Mercado Atacadista de Energia

MME – Ministério de Minas e Energia

ONS – Operador Nacional do Sistema

PLpT – Programa Luz para Todos

PND – Plano Nacional de Desestatização

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.

RGR – Reserva Global de Reversão

SEP – Sistema Elétrico de Potência

SIN – Sistema Interligado Nacional

UEV – Valores Unitários em Energia (Unit Energy Value)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo geral	13
1.2	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Sistema Elétrico de Potência	14
2.2	Sistema Elétrico Brasileiro	15
2.3	Programa de Eletrificação Rural.....	17
2.4	Contabilidade Ambiental em Sistemas Elétricos de Potência	19
3	MÉTODO	24
3.1	Coleta de dados.....	24
3.2	Energia e transformidades	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	Evolução do consumo de energia elétrica no estado do Piauí.....	29
4.2	Programa Luz para Todos no Piauí	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
6	REFERÊNCIAS.....	43
	ANEXOS	46
	ANEXO A: DECRETO No 4.873, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003	46
	ANEXO B: LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPLANTAÇÃO DO PLpT	49
	ANEXO C: MEMORIAL DE CÁLCULO.....	52

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica, indispensável na vida moderna, tanto oferece meios para a sociedade ter mais qualidade de vida como também representa insumo básico para a maioria das atividades comerciais e industriais. A garantia do acesso ao serviço de distribuição de energia elétrica, bem como a continuidade do mesmo, é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico da população.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável pela regulação do setor elétrico brasileiro. É ela quem determina os procedimentos a serem seguidos pelas concessionárias, que através do Contrato de Concessão são autorizadas a distribuir energia elétrica na área em que atuam. Nesse contrato, a distribuidora tem como uma de suas obrigações garantir o acesso ao serviço de distribuição de energia elétrica a qualquer interessado no mesmo, além de implementar e participar de programas de eletrificação rural com vistas à incorporação da demanda potencial desse segmento e ao pleno atendimento do mercado de energia elétrica em sua área de concessão.

No estado do Piauí, a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica é a Companhia Energética do Piauí (CEPISA), criada em agosto de 1962 com a razão social Centrais Elétricas do Piauí S.A. Posteriormente, em 1987, a Lei Estadual nº 4.126 altera a razão social da CEPISA para Companhia Energética do Piauí e amplia seu campo de ação. Em outubro de 1997, a Eletrobras, com 99% das ações, adquiriu o controle acionário da empresa. E em março de 2010 a CEPISA vem a se tornar Eletrobras Distribuição Piauí.

Segundo o Censo Demográfico de 2000, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), estimou-se que 3,12 milhões de domicílios não tinham acesso aos serviços de energia elétrica, correspondendo a aproximadamente 13,6 milhões de brasileiros. O maior déficit no atendimento era na zona rural, onde, do montante dos domicílios sem energia elétrica, cerca de 70% eram domicílios rurais. Os estados das regiões Norte e Nordeste do país eram os mais afetados.

Diante desse cenário preocupante, em 2003, através do Decreto Nº 4.873, foi instituído pelo governo federal o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso de Energia Elétrica, também conhecido como **Programa Luz para Todos – PLpT**, que tinha como objetivo inicial permitir, gratuitamente, o acesso à energia elétrica a mais de 10 milhões de pessoas da zona rural até o ano de 2008.

No estado do Piauí, o pacto entre a Companhia Energética do Piauí e o Ministério de Minas e Energia – MME previa o atendimento de 149.600 domicílios rurais, valor que foi

ultrapassado em dezembro de 2014, e até o final de 2015 151.900 domicílios tinham energia elétrica, totalizando um investimento em torno de R\$ 1.116.321.000,00.

Segundo Pandeff et al. (2014), o Programa Luz para Todos busca, além da inclusão elétrica no país, utilizar a energia elétrica como meio para o desenvolvimento social e econômico, possibilitando a redução da pobreza e o incremento da renda familiar, melhorando consequentemente a prestação de serviços a essa comunidade beneficiada.

Além do impacto socioeconômico, deve ser observado o impacto ambiental provocado pela implantação da rede elétrica do programa, bem como a sustentabilidade do mesmo. Segundo Brüseke (1995), desenvolvimento sustentável é “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades”. O conceito de sustentabilidade, tomou forma na década de 1980, através do Relatório Brundtland, que é o resultado do trabalho da Comissão Mundial (da ONU) sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (UNCED). O modelo de sustentabilidade baseia-se no tripé eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica (LAYRARGUES, 1997).

Para a avaliação da sustentabilidade de um sistema, é necessário verificar a relação entre a sociedade humana e a biosfera. Nesse contexto, os métodos de síntese em emergia são uma possibilidade de visão sistêmica desse sistema.

Odum (1996), descreve emergia como uma medida científica da riqueza real em termos da energia necessária para fazer o trabalho de produção. Esse sistema de avaliação representa os valores ambientais e os valores econômicos com uma medida comum. A emergia, escrita com “m”, mede tanto o trabalho da natureza quanto o dos seres humanos na geração de produtos e serviços. Emergia também é sinônimo de energia incorporada ou “memória energética”. Sua unidade de medida é o Joule (seJ).

1.1 Objetivo geral

Calcular o custo ambiental do processo de implantação do Programa Luz para Todos no estado do Piauí através da contabilidade ambiental em energia.

1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o crescimento no consumo de energia elétrica no estado do Piauí durante a implantação do Programa Luz para Todos;
- b) Fazer o levantamento do sistema elétrico implantado pelo Programa Luz para todos.
- c) Calcular a Energia do sistema elétrico implantado.

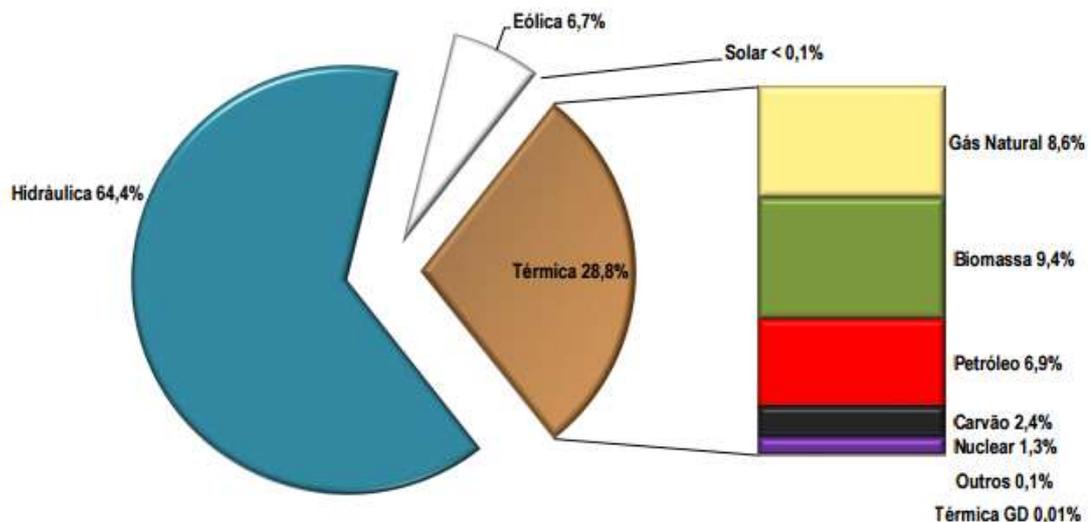
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistema Elétrico de Potência

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) tem como função principal fornecer energia elétrica ao usuário de pequeno, médio ou grande porte. Para tanto, o sistema elétrico é dividido em três grandes grupos: geração, transmissão e distribuição de energia.

A geração de energia baseia-se nos princípios de conversão de energia, transformando alguma outra forma de energia em eletricidade. No Brasil, segundo o Boletim de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (MME, 2016), em dezembro de 2016 a geração hidráulica foi responsável por cerca de 64,4% do total gerado no país (figura 1).

Figura 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada – Dezembro de 2016



Fonte: MME

O sistema responsável por interligar os centros de geração e consumo é a transmissão de energia, classificada de acordo com o nível de tensão de transmissão. O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), é constituído por um sistema de transmissão interligado conhecido como Sistema Interligado Nacional – SIN, que garante a qualidade e a confiabilidade do sistema, possibilitando o intercâmbio entre áreas de acordo com a sazonalidade da geração de energia (ANEEL, 2016).

O terceiro grupo do sistema elétrico de potência, é o sistema de distribuição de energia elétrica, que vem a ser o responsável por distribuir a energia elétrica ao consumidor final. Ele é formado por linhas de distribuição em média e baixa tensão e subestações de distribuição.

A ANEEL implantou normas que disciplinam o relacionamento entre as distribuidoras de energia elétrica e os demais agentes (unidades consumidoras e centrais geradoras), os Procedimentos de Distribuição – PRODIST, regulamentados pela Resolução Normativa nº 345/2008. Esta tem como principal propósito fiscalizar a distribuição de energia, no intuito de prevenir em vez de punir. O PRODIST é composto por dez módulos: Introdução; Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição; Acesso ao Sistema de Distribuição; Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição; Sistemas de Medição; Informações Requeridas e Obrigações; Cálculo de Perdas na Distribuição; Qualidade da Energia Elétrica; Ressarcimento de Danos Elétricos; Sistema de Informação Geográfica Regulatório.

No estado do Piauí, a empresa responsável por explorar os serviços de distribuição de energia elétrica é a Eletrobras Distribuição Piauí (EDPI), concessionária de serviço público de energia elétrica, uma sociedade de economia mista de capital fechado controlada pelas Centrais Elétricas Brasileiras S/A – Eletrobras.

Ela foi fundada no dia 8 de agosto de 1962 como CEPISA, que vem a ser hoje a única concessionária do estado do Piauí. No ano de 1997, a Eletrobras adquire o controle acionário da empresa, que em 2010 passa a se chamar Eletrobras Distribuição Piauí.

O sistema elétrico de distribuição da empresa EDPI, no final de 2015, contava com 87.929 quilômetros de linhas de alta, média e baixa tensão e 84 subestações, totalizando 1.334 MVA de potência instalada, atendendo a 1.115.063 unidades consumidoras (residencial, comercial, industrial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio).

A Eletrobras Distribuição Piauí tem como área de concessão o estado do Piauí, formado por 224 municípios abrangendo uma área de 251.611,932 quilômetros quadrados, com população estimada em 3.204.028 habitantes em 2015 (IBGE, 2016).

O mercado atendido pela empresa aumentou, entre os anos de 2004 e 2015, 166%, correspondendo a um crescimento no consumo de energia elétrica de aproximadamente de 212%. Ele é constituído principalmente por consumidores dos tipos residencial e comercial, que juntos representam cerca de 70% do consumo de energia elétrica no estado em 2015 (EDPI, 2016).

2.2 Sistema Elétrico Brasileiro

Data dos anos finais do século XIX o início da geração de energia elétrica no Brasil. A partir daí tem a origem a concepção da regulamentação do setor elétrico. Já no século XX,

com a chegada das primeiras concessionárias estrangeiras, a produção e a comercialização de energia elétrica aumentaram, e conseqüentemente a regulamentação do setor evoluiu. A regulação nesse período era voltada unicamente aos interesses privados do capital estrangeiro (GASTALDO, 2009).

No ano de 1933, o Decreto nº 23.501, de 27 de novembro, iniciou um processo que tornaria a regulação mais rígida, proibindo qualquer contrato que estipulasse pagamento de tarifa ouro ou em qualquer outra moeda que não a do país. Em 10 de julho de 1934, com a promulgação do Código das Águas, via Decreto nº 24.645, estabeleceu-se definitivamente o processo de fixação de tarifas na comercialização da energia elétrica.

O Código das Águas regulamentava, também, a propriedade das águas e sua utilização; dispunha sobre a outorga das autorizações de concessão para exploração dos serviços de energia elétrica. Vale ressaltar que o artigo 195 do código estabelecia que as “autorizações de concessões seriam conferidas exclusivamente a brasileiros ou a empresas organizadas no Brasil”, o que provocou resistência entre as principais empresas do setor elétrico.

Em 18 de maio de 1939, através do Decreto nº 1.285, foi criado o Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica (CNAEE), que impôs a revisão dos contratos e das concessões existentes, provocando manifestações das empresas, uma vez que as mesmas, graças à contínua alta dos preços no país no final da década de 1930, encontravam-se descapitalizadas e sem motivação para investir no setor.

A Divisão de Águas e Energia do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) foi transformada, em 1965, em Departamento Nacional de Águas e Energia (DNAE), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME). Em 1967, com a extinção do CNAEE, suas funções foram transferidas para o Departamento Nacional de Águas e Energia, que viria a se tornar o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE).

Na década de 1990, com a justificativa de uma crise econômica no Estado brasileiro, o setor elétrico passou por um processo de liberalização econômica, também conhecido pela reconstrução do setor, sendo incluído no Plano Nacional de Desestatização (PND) (SAUER, 2002).

A partir do ano de 1995, o Brasil viveu uma transformação no setor elétrico, houve uma desestatização das distribuidoras e uma desverticalização da cadeia produtiva, por meio da divisão das atividades de geração, distribuição, transmissão e comercialização de energia.

Esses processos deram aos grandes consumidores uma liberdade de escolha de quem seriam seus fornecedores de energia.

Seguindo esse processo de evolução, é instituída, através da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como agência reguladora, fiscalizadora e mediadora do setor elétrico. Mais tarde, com o Decreto nº 2.235, de 6 de outubro de 1997, foi constituída a ANEEL e aprovada a sua Estrutura Regimental. E em 29 de novembro de 2000 foi aprovada a Resolução Normativa nº 456, que estabelecia de forma atualizada e consolidada as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, de acordo com o Código de Defesa do Consumidor (Lei nº 8.078/1990). Essa resolução vigorou até 2010, quando foi reformulada e substituída pela Resolução Normativa 414, de 9 de setembro de 2010.

Graças a uma crise na geração de energia elétrica no ano de 2001, o setor elétrico foi reestruturado mais uma vez, sendo implantado o novo modelo em 2003 e 2004. No novo modelo do sistema elétrico brasileiro houve a criação de diversas entidades para evitar uma nova crise no setor, foram criadas uma entidade responsável pelo planejamento do setor elétrico a longo prazo (a Empresa de Pesquisa Energética – EPE); uma instituição com a função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica (o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE); uma instituição para dar continuidade às atividades do MAE (Mercado Atacadista de Energia) relativas à comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado (a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE). Ainda houve a definição do exercício do Poder Concedente ao Ministério de Minas e Energia (MME) e a ampliação da autonomia do ONS (Operador Nacional do Sistema) (ANEEL, 2017).

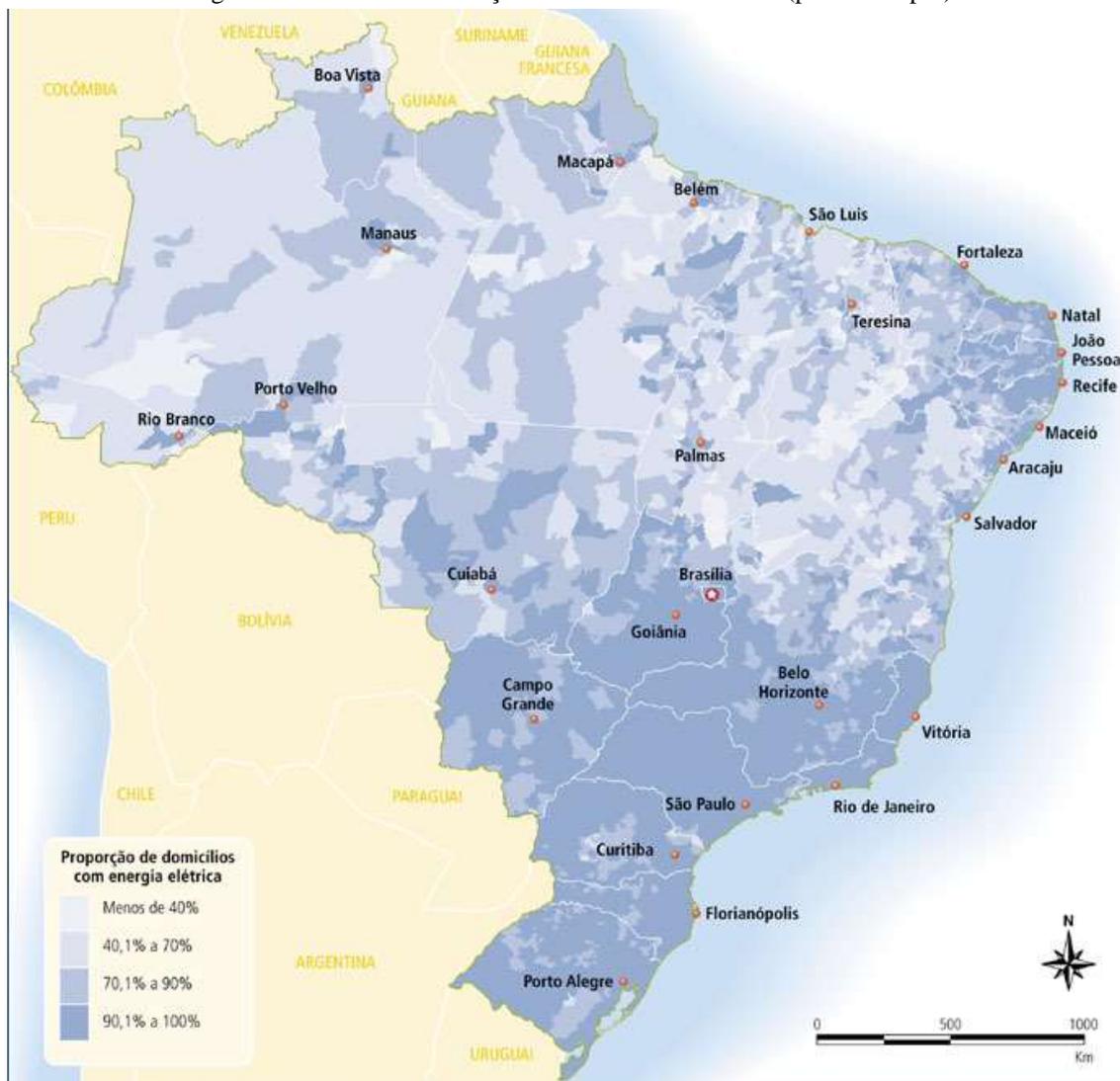
Esse novo modelo tinha como principais objetivos garantir a segurança do suprimento de energia elétrica e promover a modalidade tarifária e a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro, em particular pelos programas de universalização de atendimento, dando início à implantação do Programa Luz para Todos.

2.3 Programa de Eletrificação Rural

No ano 2000, o IBGE realizou o Censo Demográfico, no qual, entre outras informações, foi constatado que 3,12 milhões de domicílios não tinham acesso aos serviços de energia elétrica, correspondendo a aproximadamente 13,6 milhões de brasileiros, conforme o mapa (Figura 2). O maior déficit no atendimento era na zona rural, onde, do montante dos

domicílios sem energia elétrica, cerca de 2,18 milhões, aproximadamente 70% eram domicílios rurais. Os estados das regiões Norte e Nordeste do país eram os mais afetados.

Figura 2 – Taxa de eletrificação domiciliar no ano 2000 (por município)



Fonte: IBGE (2016).

Em virtude do cenário alarmante encontrado pelo Censo, em 2003, através do Decreto nº 4.873, foi instituído pelo governo federal o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “LUZ PARA TODOS” (PLpT), que tinha como objetivo permitir o acesso à energia elétrica para a parcela da população que ainda não era atendida por esse serviço. O prazo estabelecido para essa universalização era até 2008.

O programa é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, operacionalizado com a participação da Eletrobras e de empresas do grupo e financiado através da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, da Reserva Global de Reversão – RGR, de agentes do

setor elétrico, da participação dos estados, municípios e outros destinados ao programa (Decreto nº 4.873).

Segundo o mesmo decreto, as prioridades de implantação do programa acontecerão da seguinte forma:

- I - projetos em municípios com índice de atendimento inferior a 85%, segundo dados do Censo 2000;
- II - projetos de eletrificação rural que beneficiem populações atingidas por barragens cuja responsabilidade não esteja definida para o executor do empreendimento;
- III - projetos de eletrificação rural que enfoquem o uso produtivo da energia elétrica e que fomentem o desenvolvimento local integrado;
- IV - projetos de eletrificação rural em escolas públicas, postos de saúde e poços de abastecimento d'água;
- V - projetos de eletrificação rural que visem atender a assentamentos rurais; e
- VI - projetos de eletrificação para o desenvolvimento da agricultura familiar.

Visando a integralização da implantação do programa de eletrificação rural, em abril de 2008, por meio do Decreto nº 6.442, o governo federal prorroga o prazo de conclusão de 2008 para 2010.

Após novo Censo Demográfico realizado pelo IBGE em 2010, foi constatado que através do PLpT cerca de 77,25% dos domicílios sem acesso à energia elétrica foram ligados ao sistema de distribuição de energia elétrica, com o atendimento do serviço por parte das concessionárias de energia. Mesmo assim, o Censo 2010 constatou que ainda existiam cerca de 728 mil famílias sem acesso à energia elétrica. Por esse motivo, o governo federal, através do Decreto nº 7.520, de julho de 2011, ampliou o prazo do programa até dezembro de 2014, e posteriormente, por meio do Decreto nº 8.387, o programa foi prorrogado até 2018.

2.4 Contabilidade Ambiental em Sistemas Elétricos de Potência

A crescente procura pelo acesso à energia elétrica pode ser considerada uma das preocupações ambientais mais relevantes atualmente. Em todas as suas áreas (geração, transmissão e distribuição) o Sistema Elétrico de Potência tem contribuído com a emissão global de gases de efeito estufa, alterações climáticas, entre outros impactos ambientais relacionados à implantação e operação do sistema.

O modelo do sistema elétrico de potência vai variar de acordo com a realidade de cada região, observando-se as características de geração, transmissão e distribuição de energia. No Brasil, por exemplo, a principal fonte de geração de energia elétrica é a hídrica, enquanto nos

países com um maior volume de pesquisa na área ambiental essa geração é principalmente através de termoelétricas.

Para mensurar tais impactos são utilizadas diversas ferramentas para avaliação ambiental dos sistemas e tomada de decisões. A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV (Life Cycle Analysis – LCA) é umas das ferramentas mais utilizadas para esse fim, podendo ser complementada com a aplicação do método Síntese em Emergia, desenvolvido por Odum.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta da área ambiental destinada ao estudo de potenciais impactos ambientais, durante todo o ciclo de vida; tal ferramenta ajuda na tomada de decisões mais corretas ambientalmente falando (LIMA, 2014). A ACV tem seus padrões definidos através das normas ISO 14.040/2006 e ISO 14.044/2006, que no Brasil foram traduzidas como NBR ISO 14.040/2009 e 14.044/2009.

Segundo a ISO 14.040/2009, a ACV “estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do ‘berço ao túmulo’), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição”. Ela leva em consideração o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas como categorias gerais de impactos ambientais.

A ACV é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante:

- A compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- A avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- A interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos (ISO 14.0140/2009).

A utilização da ACV é de suma importância para a avaliação ambiental do SEP. Tal ferramenta é amplamente utilizada por vários pesquisadores.

Harrison et al. (2010) fizeram uma avaliação preliminar das emissões de carbono do ciclo de vida da rede de energia elétrica de alta tensão na Grã-Bretanha, analisando um período de 40 anos. Os autores demonstraram que os vários milhões de toneladas de materiais utilizados na infraestrutura tinham uma quantidade substancial de energia incorporada e CO₂, mas as perdas na rede tiveram um impacto que era duas ordens de grandeza mais significativo. Em geral, a rede foi construída para transmitir cerca de 19 vezes mais energia do que é incorporado, e sua pegada de carbono é da ordem de 11 g CO₂-eq/kWh. Harrison et al. (2010) constataram que, para que houvesse uma redução das emissões de CO₂ associadas à rede, deveria haver investimento em infraestrutura para proporcionar benefícios de carbono

através de menores perdas, o que exigiria novos mecanismos regulatórios que beneficiassem através da poupança de carbono os proprietários de linhas de transmissão.

Ainda nesse segmento, Jorge e Hertwich (2013), analisaram a rede de transmissão de energia elétrica norueguesa. A produção renovável de energia encontra-se muitas vezes longe dos centros de consumo, e, se as tecnologias de energia limpa forem adaptadas em grande escala, isso exigirá a construção de redes mais longas e redes com maior capacidade de transmissão; toda essa eletricidade que é gerada por energia convencional ou renovável precisa ser transportada das usinas para os consumidores finais, e esse processo contribui para as emissões globais do setor de energia.

Segundo Jorge e Hertwich (2013), ao utilizarem a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no sistema norueguês para cada quilowatt-hora de eletricidade transmitida na Noruega, os impactos das alterações climáticas são de 1,3-1,5 g de CO₂.eq. Metade dessas emissões está associada a perdas de energia, e a outra metade, a processos de infraestrutura, como produção de materiais, instalação, manutenção e fim de vida útil. Os resultados também mostram que, após as perdas, os processos de infraestrutura para linhas aéreas e transformadores e as emissões de SF₆ a partir de equipamentos isolados a gás são os contribuintes mais relevantes para os impactos climáticos totais.

Observando a relevância da avaliação dos impactos ambientais do SEP, Jorge et al. (2012) dividiram seu estudo sobre avaliação do ciclo de vida de transmissão e distribuição de eletricidade em duas partes. Na primeira foram analisados as linhas de energia e cabos em sistemas aéreos, subterrâneos e submarinos; observou-se que, após perdas de energia, o processo que gera o maior número de impactos para linhas aéreas é a produção de metais para mastros e condutores, e a produção de fundações vem em terceiro lugar. Os autores observaram que a reciclagem de peças de metal mostra benefícios em todas as categorias de impacto. Para os cabos, os impactos de infraestrutura são dominados pela produção dos cabos, e nem sempre a reciclagem de materiais de cabo vai compensar outros impactos gerados no final da vida.

Na segunda parte, Jorge et al. (2012) abordaram o ACV para a análise dos impactos de transformadores e equipamentos de subestação, que obteve como conclusão que as melhorias na redução da eficiência na componente das perdas de energia e redução das fugas de gás SF₆ do gás isolada tangíveis contribuiria significativamente para a diminuição do impacto global que o compõe.

Ainda sobre os estudos ambientais no sistema elétrico de potência, Jorge e Hertwich (2014), ao observarem que na Europa a expansão renovável consistiria principalmente na

instalação de fontes de geração de energia renováveis, que exigem linhas de transmissão adicionais, utilizaram a Avaliação do Ciclo de Vida para analisar a expansão da rede de transmissão. Os resultados mostram que os processos de fabricação para a produção de equipamentos de transmissão são importantes para algumas categorias de impactos, particularmente o esgotamento da água. Finalmente, uma análise de sensibilidade em relação às taxas de reciclagem indica que os resultados em algumas categorias de impacto apresentaram grande variação em função das taxas assumidas.

Uma outra ferramenta de avaliação ambiental bastante utilizada é a Síntese em Energia, desenvolvida por Odum (1996), ela analisa toda a energia incorporada, direta ou indiretamente, para a realização de um serviço ou produto. Para estudo do Sistema Elétrico de Potência, ela foi utilizada principalmente na avaliação dos sistemas de geração de energia elétrica.

Brown et al. (2012) afirmam que “indicadores de eficiência e desempenho ambiental são fundamentais para marcar o progresso rumo a padrões mais sustentáveis de desenvolvimento humano”. Eles utilizam em seu artigo uma definição operacional da Relação de Rendimento em Energia (EYR) para dois estudos de caso: um da geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico; e outro da produção de eletricidade a partir de uma usina térmica que utiliza a queima de petróleo como fonte de energia.

Os autores identificaram uma série de questões importantes que resultaram em uma multiplicidade de definições operacionais de EYR, e causaram uma falta de comparabilidade de uma análise para outra. A discussão sobre como abordar a definição conceitual e sugerir uma categorização de fluxos de entrada que é típica da estrutura de LCA fez que Brown et al. (2012) gerassem uma nova definição e uma fórmula que aparentemente removeram a maioria das inconsistências de avaliações em Energia em estudos passados. Com a nova definição operacional de EYR introduzida no artigo para os estudos de caso, os resultados encontrados forneceram a base para a discussão das informações complementares fornecidas pelo UEV e pelo EYR.

Yang et al. (2013) também utilizaram a Contabilidade em Energia como ferramenta de análise ambiental de um parque eólico moderno em Guangxi, na China. Os autores obtiveram como resultado que a transformação da eletricidade do parque eólico é a menor entre os vários processos de geração de eletricidade, indicando que tem maior eficiência termodinâmica do ponto de vista da biosfera.

Quando Yang et al. (2013) compararam os resultados obtidos em seus estudos com os dados já existentes de outros sistemas de energia renovável, obtiveram que a tecnologia de

energia eólica leva vantagem em termos de sustentabilidade e custo ecológico sobre a geração de energia a partir de energia solar térmica e fotovoltaica. Porém, quando comparados aos sistemas de geração de energia elétrica que utilizam os combustíveis derivados da biomassa, especialmente o biogás por digestão anaeróbia, estes apresentam desempenho ecológico e sustentabilidade ambiental melhores do que as tecnologias eólica e solar.

Buonocore et al. (2015) utilizaram como ferramentas de avaliação ambiental a Avaliação do Ciclo de Vida e a Contabilidade em Energia, como complementação ao estudo do ACV, para analisar uma central elétrica a vapor de 20 M, localizada na região da Toscana, na Itália. A usina produz eletricidade utilizando recursos renováveis disponíveis na região (fonte geotérmica) e também, de forma moderada, recursos não renováveis.

A utilização da ACV no estudo permitiu aos autores uma avaliação abrangente dos impactos ambientais da usina geotérmica, tanto de fontes como de sumidouros. E a inclusão do método Síntese em Energia dentro de uma estrutura de LCA permitiu, ainda, a avaliação adequada do apoio ambiental global fornecido pela biosfera ao longo do tempo necessário para a geração de recursos, acrescentando uma perspectiva temporal e evolutiva às avaliações termodinâmicas e de carga fornecidas pela análise de energia e ACV.

Buonocore et al. (2015) compararam os impactos ambientais da usina geotérmica com os de usinas renováveis e baseadas em fósseis. A usina de energia investigada mostra uma eficiência de 14%, que está na linha da tecnologia geotérmica de vapor seco médio. A liberação de $\text{CO}_2\text{-eq}$ calculada para a usina geotérmica investigada foi menor do que aquela calculada para usinas de energia baseadas em combustíveis fósseis, mas ainda maior do que tecnologias renováveis como a solar fotovoltaica e a hidrelétrica. Além disso, a liberação de $\text{SO}_2\text{-eq}$ associada à usina de energia geotérmica é comparável com as usinas de energia baseadas em combustíveis fósseis.

3 MÉTODO

3.1 Coleta de dados

Anualmente as concessionárias de energia elétrica no Brasil apresentam o Relatório Administrativo, em conformidade com o que é instituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Os relatórios administrativos anuais da Eletrobras Distribuição Piauí serviram como base de dados para a análise do sistema elétrico e da implantação do programa de eletrificação rural, bem como do consumo de energia elétrica no Piauí.

Os dados coletados para a realização da contabilidade ambiental em energia correspondem aos anos de 2004 a 2015, período de implantação do PLpT no estado do Piauí; para tanto, foram utilizados os relatórios administrativos dos anos de 2006 a 2015. E foram utilizadas também informações divulgadas pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, através do Anuário de Estatística de Energia Elétrica.

Segundo o Relatório de Administração da EDPI, o sistema elétrico de distribuição da empresa, ao final de 2015, contava com 87.929 quilômetros de linhas de alta e média tensão (138 kV, 34,5 kV e 69 kV) e 84 subestações, totalizando 1.334 MVA de potência instalada, atendendo a 1.172.997 unidades consumidoras.

Além dos relatórios, foram utilizados os dados repassados pela Eletrobras referentes à lista de materiais (postes, cabos, transformadores, medidores etc.) que foram utilizados na implantação do PLpT. Esses relatórios correspondem aos materiais que foram implantados nos anos de 2004, 2005, 2009, 2010 e 2014, o que limitou a análise da contribuição ambiental total da implantação do PLpT no estado do Piauí, de modo que a análise ambiental será feita de forma parcial.

Para o levantamento dos materiais, foram utilizados os catálogos de fabricantes de condutores e transformadores. E ainda foi solicitada aos fabricantes a relação dos materiais empregados em transformadores e condutores que não tinham especificações no catálogo, porém a solicitação não logrou êxito, tendo sido utilizados somente transformadores com classe de tensão de 15 kV e desconsiderados os condutores multiplexados no estudo do sistema.

O procedimento utilizado para avaliação da implantação do PLpT no estado do Piauí, no que diz respeito ao levantamento de dados, obedeceu aos seguintes passos:

1. Conhecimento do sistema em estudo, incluindo a classificação dos consumidores que foram ligados e a relação dos novos consumidores com o aumento do consumo de energia;
2. Conhecimento dos ativos empregados na implantação do programa;
3. Levantamento dos materiais que foram utilizados no programa.

3.2 Emergia e transformidades

A ferramenta de avaliação do sistema que será utilizada neste trabalho é a Contabilidade em Emergia, desenvolvida por Howard T. Odum (1996), que utilizou como base a biogeoquímica e a termodinâmica de todas as formas de energia, recursos e serviços humanos para entender o funcionamento e a dinâmica dos ecossistemas naturais e artificiais, ou seja, ecossistemas controlados pelo homem.

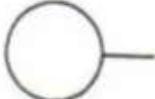
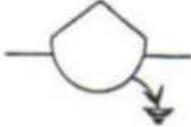
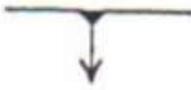
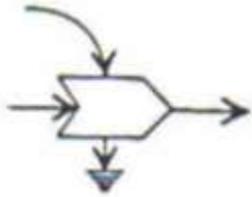
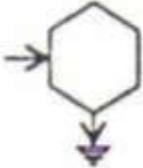
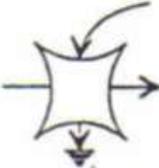
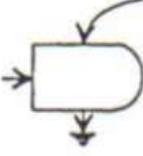
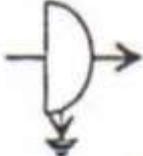
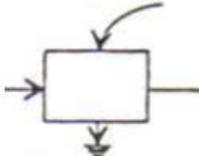
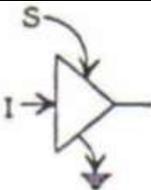
Odum (1996), em seu livro *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*, descreve a emergia como uma medida científica da riqueza real em termos da energia necessária para fazer o trabalho de produção. Esse sistema de avaliação representa os valores ambientais e os valores econômicos com uma medida comum.

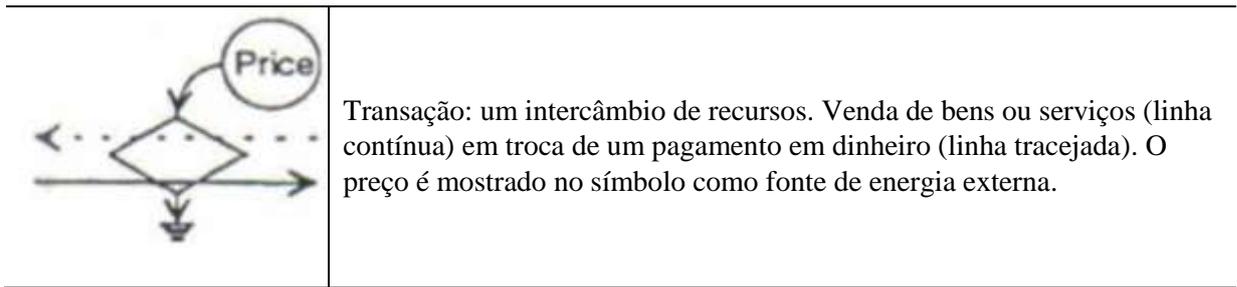
A emergia, escrita com “m”, mede tanto o trabalho da natureza quanto o dos seres humanos na geração de produtos e serviços. Ela é definida como “a energia disponível, de mesmo tipo, usada de forma direta e indireta para fazer um serviço ou produto. A emergia também é sinônimo de energia incorporada ou ‘memória energética’” (ODUM, 1996). Ainda segundo Brown (2002), “emergia é a quantidade de energia disponível de um tipo que é necessário para fazer alguma coisa e é usado em uma transformação do processo”.

Essa ferramenta possibilita a comparação entre os diversos sistemas, pois converte todos os recursos e serviços utilizados num dado processo em equivalentes de uma forma de energia, geralmente emergia solar. Ela tem como unidade de medida o joule de emergia solar (solar emJoule – seJ).

Odum (1996) explica que todos os sistemas da terra se relacionam de forma direta ou indireta. Os diagramas de sistemas têm como função representar os sistemas e as conexões pelas quais há interações entre eles; os padrões e processos podem ser diagramados em qualquer escala. O diagrama é feito com símbolos (Tabela 1) de sistemas de energia; eles são chamados de sistemas de energia porque tudo tem alguma energia, e mostram caminhos que podem indicar interações causais, revelar ciclos materiais ou transportar informações, mas sempre com alguma energia. O diagrama de sistemas também define as equações que são usadas para simulação de sistemas.

Tabela 1 – Símbolos para utilização nos diagramas em energia

Símbolo	Descrição
	Fluxo de energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.
	Fonte: um recurso externo de energia que fornece energia de acordo com um programa controlado externamente (função força).
	Depósito: uma reserva de energia dentro dos limites do sistema determinada pelo equilíbrio de entradas e saídas.
	Sumidouro de energia: o sistema usa a energia potencial para produzir trabalho. O custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual abandona o sistema como energia de baixa intensidade. Todos os processos de interação e os armazenamentos dispersam energia.
	Interação: Interseção de no mínimo dois fluxos de energia para produzir uma saída (trabalho) que varia de acordo com certa função de energia. Exemplos: uma ação de controle de um fluxo sobre outro, presença de um fator limitante, uma válvula.
	Consumidor: unidade que usa e transforma a energia, armazenando-a como energia de maior qualidade e retroalimentando energia (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Interruptor: um sistema de acionamento ou corte de um fluxo de energia de acordo com a ação de uma ou mais energias de controle.
	Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa intensidade sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.
	Receptor de energia autolimitante: uma unidade que tem uma saída autolimitada mesmo que forças externas sejam altas, porque existe um círculo interno de energia que está controlado pela presença limitada de um material de alta qualidade.
	Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior. Representa um subsistema.
	Amplificador de ganho constante: uma unidade que fornece uma saída proporcional a uma entrada de energia, mas que pode ser modificada por um fator de ganho, contanto que a fonte de energia S seja capaz de fornecer energia.



Fonte: Adaptado de Odum (1996).

Para representar a conversão do sistema em energia, será utilizada a Transformidade Solar. Suas unidades de medida estão em Joules solares por Joule (seJ/J). A transformidade solar de um produto é sua energia solar total dividida pela energia solar desse produto. Segundo Odum (1996), quanto mais transformações de energia estão contribuindo para um produto, maior é a transformação; isso ocorre porque em cada transformação a energia disponível é usada para produzir uma quantidade menor de energia de outra forma. Assim, a energia aumenta, mas a energia diminui, portanto a energia por unidade de energia aumenta acentuadamente.

A contabilidade em energia dos sistemas foi feita observando as seguintes passos:

1. Construção de tabelas com os dados coletados por meio da seleção adequada dos valores das transformidades (seJ/J.);
2. Interpretação e discussão dos resultados obtidos.

Os valores unitários de energia (UEVs) para o consumo de energia elétrica no estado no período de implantação do PLpT foram utilizados para calcular a energia por habitante, e os UEVs dos materiais utilizados nos ativos que foram implantados no sistema de distribuição foram utilizados para calcular a energia pela massa dos materiais, que é uma forma de mostrar a eficiência do sistema. As transformidades e os UEV's utilizados neste trabalho e as respectivas referências são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Transformidades e UEVs utilizados neste trabalho (Base: 15,83E+24 seJ/ano)

Entrada	Unidade	UEV (seJ/unidade)	Referência
Energia Elétrica	J	2,69E+05	Odum, 1996
Concreto	G	3,70E+09	Brown et al., 2012
Aço	G	5,80E+09	Brown et al., 2012
Cobre	G	9,80E+10	Cohen, 2006
Alumínio	G	14,9E+09	Brown et al., 2012
Óleo Mineral	G	3,96E+09	Bastianoni et al., 2005

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a realização da contabilidade em energia, foram limitados o número e o tipo de ativos a serem analisados, pois nem todos os ativos tinham especificações sobre os materiais que foram utilizados para sua fabricação, tendo sido escolhidos como objetos de estudo postes 10m/150kgf, condutores de CAA (condutor de alumínio com alma de aço) de bitolas de 4 AWG, 4/0 AWG, 2/0 AWG e 1/0 AWG, CA (condutor de alumínio) de bitolas de 4 AWG e 1/0 AWG, condutor de cobre de bitolas de 4 AWG e 6 AWG e transformadores trifásicos de classe de tensão de 15 kV.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evolução do consumo de energia elétrica no estado do Piauí

De acordo com o *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*, “o consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade”.

A resolução 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL classifica consumidor como sendo uma “pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, legalmente representada, que solicite o fornecimento, a contratação de energia ou o uso do sistema elétrico à distribuidora”, sendo classificado como consumidor residencial, industrial, comercial, rural, poder público, iluminação pública, serviço público ou serviço próprio.

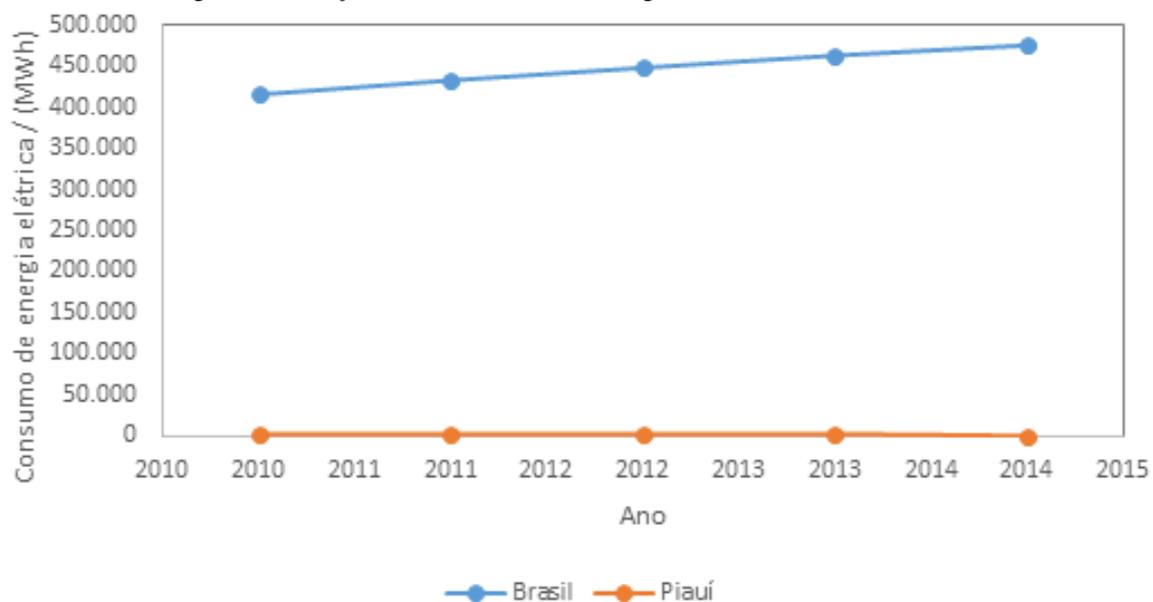
Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu aproximadamente 14% no período de 2010 a 2014. O setor que mais cresceu em termos de consumo foi o rural, graças aos programas do governo federal de eletrificação na área rural. Entretanto, o consumo no estado é um dos menores do país, representando cerca de 1,5% do consumo nacional (Figura 3).

Tabela 3 – Evolução do consumo de energia elétrica por classe no Brasil (MWh)

Classe	2010	2011	2012	2013	2014
Residencial	107.215	111.971	117.646	124.908	132.399
Industrial	179.478	183.576	183.475	184.685	179.618
Comercial	69.170	73.482	79.226	83.704	89.840
Rural	18.906	21.027	22.952	23.455	25.671
Poder público	12.817	13.222	14.077	14.653	15.354
Iluminação pública	12.051	12.478	12.916	13.512	14.043
Serviço público	13.589	13.983	14.525	14.847	15.242
Próprio	2.441	3.277	3.360	3.371	3.265
Brasil	415.667	433.015	448.177	463.134	475.432

Fonte: EPE (2016).

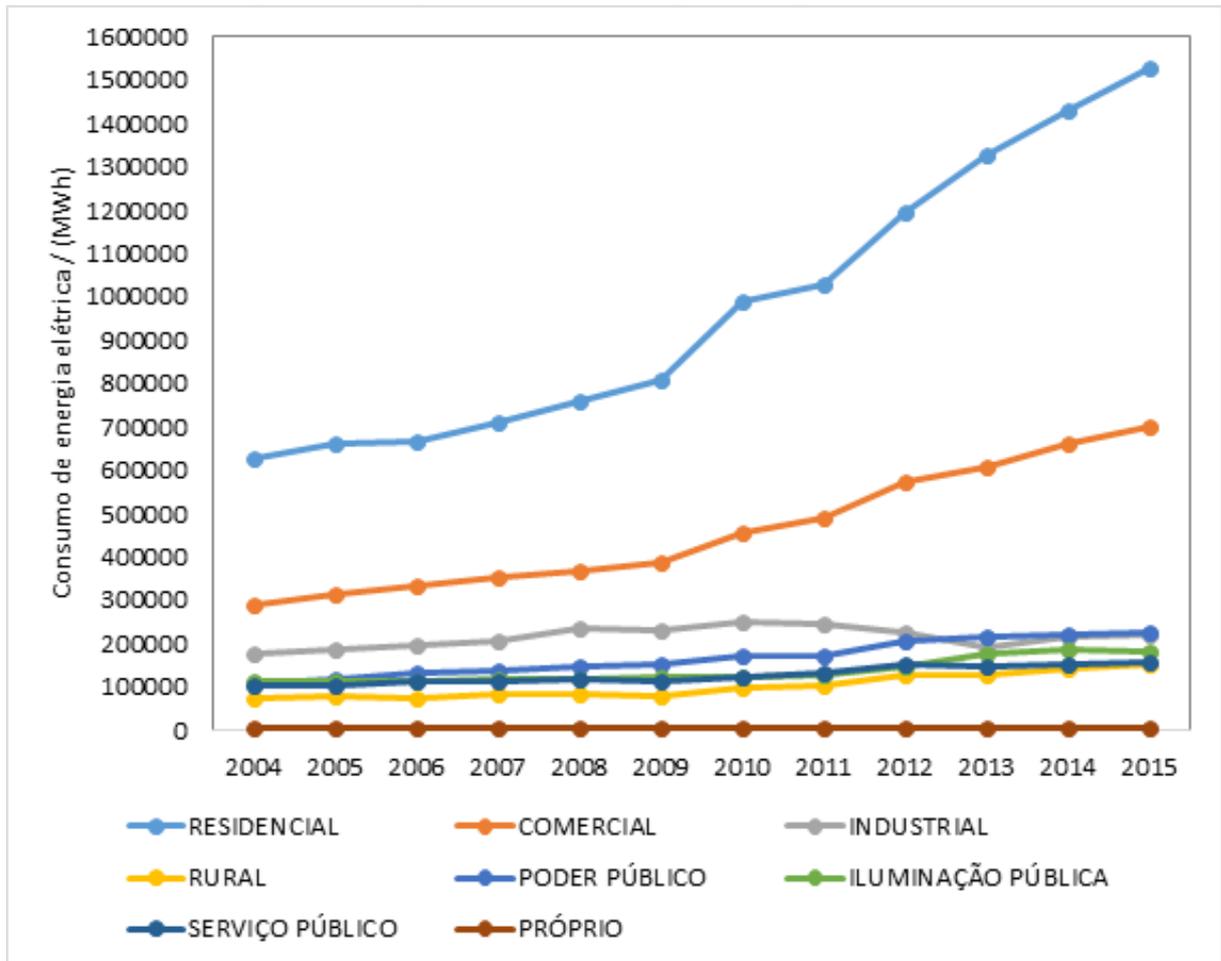
Figura 3 – Relação entre o consumo de energia elétrica no Brasil e no Piauí



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se pode observar na Figura 4, o mercado piauiense é constituído principalmente por consumidores dos tipos residencial e comercial, que juntos representaram em 2015 cerca de 70% do consumo de energia elétrica no estado. De 2004 a 2015, o aumento do consumo se deu principalmente nessas duas classes (residencial e comercial), no entanto o consumo de energia no setor rural cresceu aproximadamente 105,4% no mesmo período. Esse crescimento no setor rural deu-se principalmente devido às ligações efetuadas pelo PLpT.

Figura 4 – Evolução do consumo de energia elétrica por classe no Piauí



Fonte: Eletrobras Distribuição Piauí. (2016).

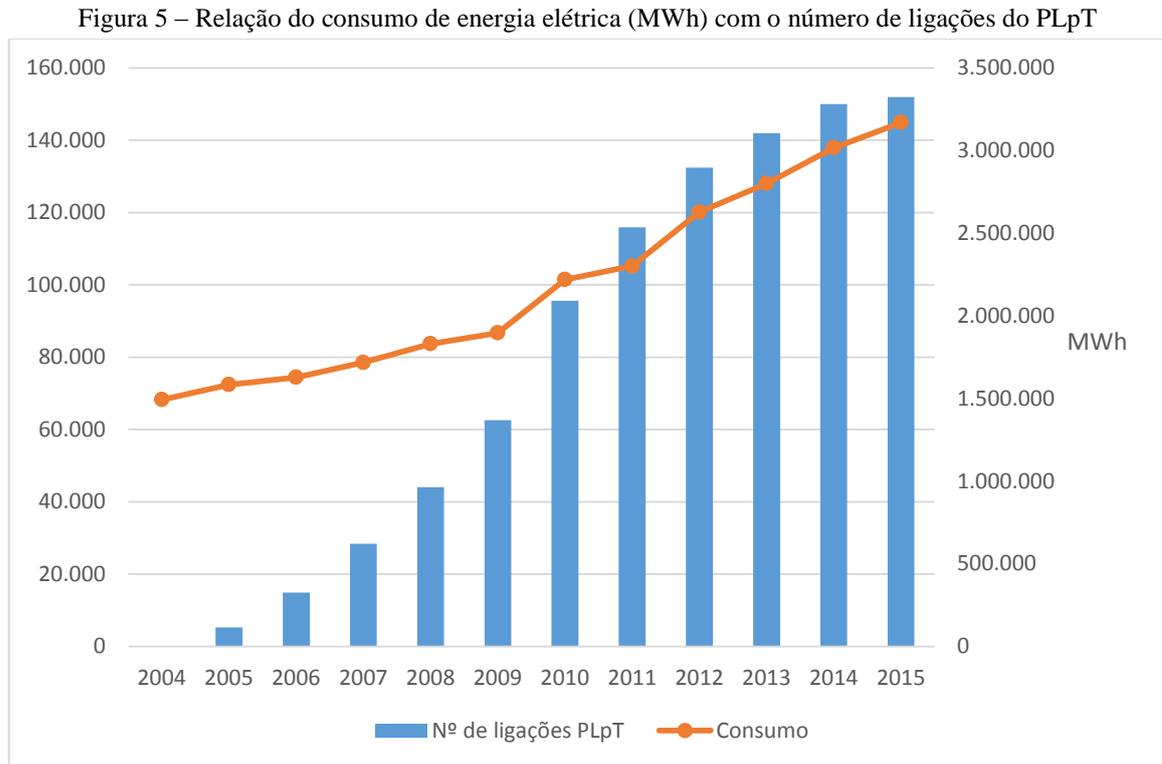
Entre os anos de 2004 e 2015, o número de consumidores aumentou cerca de 66% no estado do Piauí. Do mesmo modo, em termos de consumo de energia, a classe com crescimento mais significativo foi a residencial, que cresceu cerca de 69% no período de estudo (Tabela 2).

Tabela 4 – Evolução do número de consumidores

CLASSE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RESIDENCIAL	601.087	630.361	667.534	701.693	734.576	774.486	828.745	883.714	930.429	967.471	1.006.280	1.015.893
COMERCIAL	55.718	57.450	61.398	65.278	67.136	69.510	70.258	74.566	77.547	80.131	83.474	84.483
INDUSTRIAL	3.976	3.957	4.150	4.074	4.042	3.945	3.810	3.765	3.786	3.600	3.525	3.515
RURAL	21.351	23.011	24.105	25.658	26.590	27.379	28.900	29.377	30.073	30.302	30.268	30.224
PODER PÚBLICO	10.711	11.095	11.702	12.394	13.077	13.671	13.432	13.769	14.248	14.309	14.279	14.703
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	797	796	1.042	797	803	800	834	857	837	695	365	372
SERVIÇO PÚBLICO	1.799	2.031	2.166	2.240	2.388	2.463	3.322	3.847	4.949	5.348	5.976	5.712
PRÓPRIO	125	139	130	132	151	137	135	171	225	173	163	161
PIAUI	695.564	728.840	772.227	812.266	848.763	892.391	949.436	1.010.066	1.062.094	1.102.029	1.144.330	1.155.063

Fonte: Eletrobras Distribuição Piauí (2016).

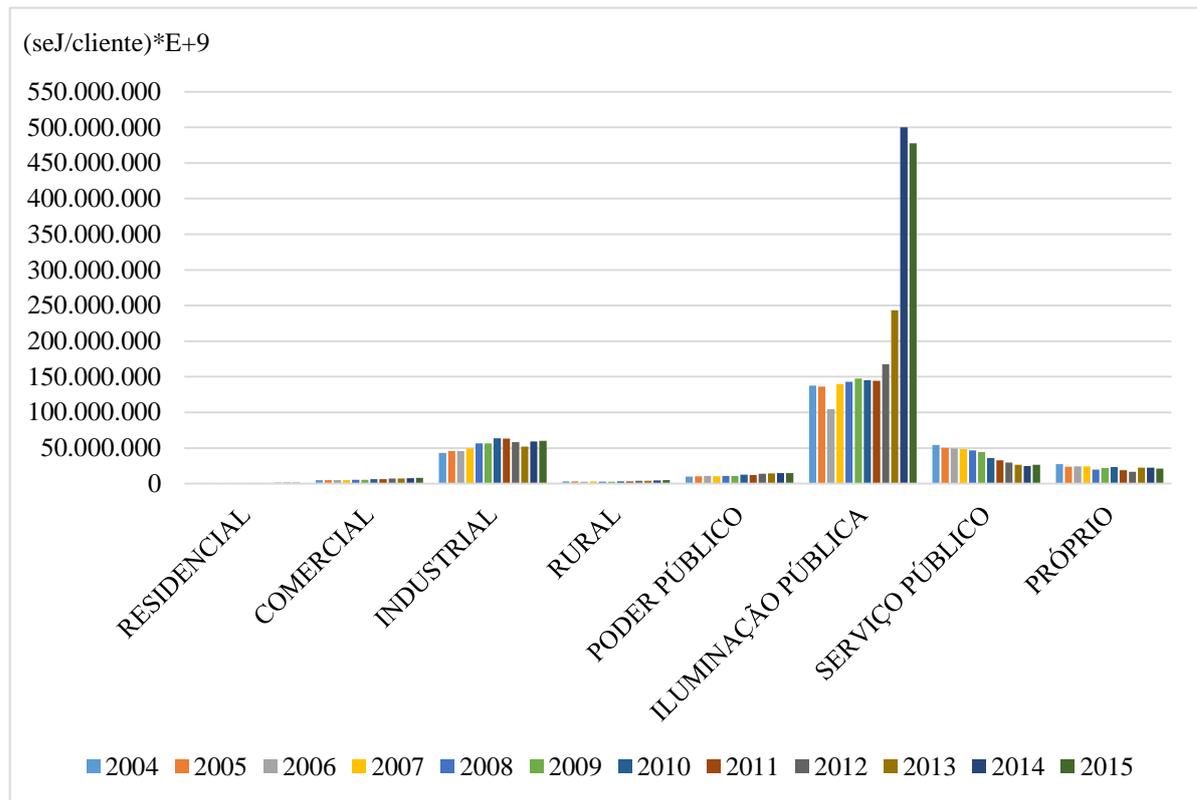
Quando se compara o número de ligações do PLpT acumuladas ano a ano com a evolução do consumo de energia elétrica no estado, é possível perceber que, apesar do pouco impacto no consumo total de energia por parte desses novos consumidores, conforme o número de ligações cresce o consumo de energia elétrica também cresce.



Fonte: Elaborado pelo autor.

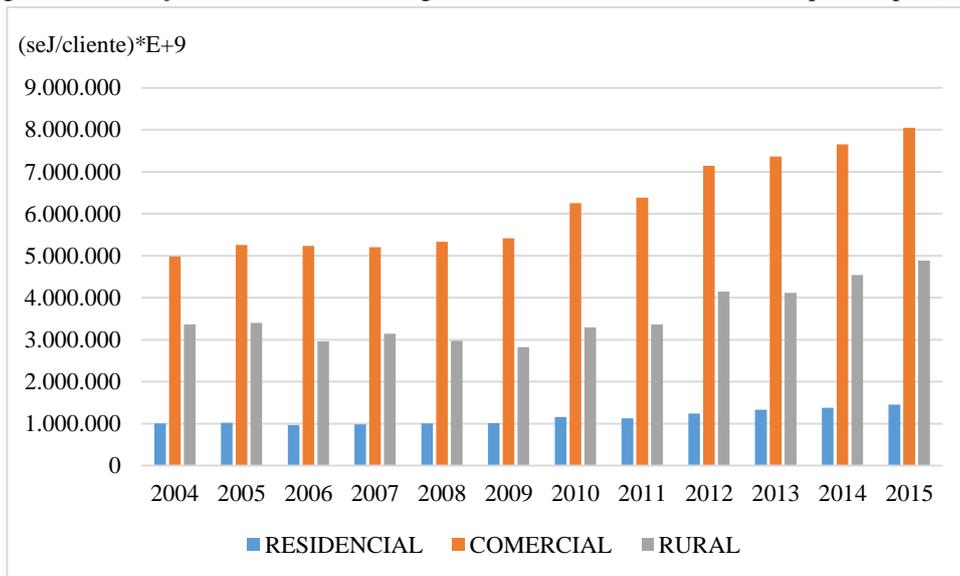
O cálculo da energia mostra os recursos da natureza e da economia que são investidos para obter a eletricidade necessária para o consumo de cada categoria de usuário. A figura 6 mostra a quantidade de energia investida por tipo de cliente. É evidente que a iluminação pública é a que mais emprega recursos no estado do Piauí, enquanto os consumidores do tipo residencial e rural são os que menos empregam recursos no estado.

Figura 6 – Evolução do consumo de energia elétrica por tipo de usuário (seJ/cliente)



Quando comparadas com as demais classes, os consumidores residenciais, comerciais e rurais apresentam pouca representatividade quanto ao investimento de recursos. Porém, com a implantação do PLpT no estado do Piauí, o crescimento no consumo de energia na classe rural foi significativamente maior; essa não foi a única classe beneficiada pelo programa, as classes residencial e comercial também receberam ligações. Por esse motivo, a análise do impacto ambiental proveniente do consumo de energia deve ser feita observando-se as três classes, conforme a Figura 7, possibilitando um melhor resultado.

Figura 7 – Evolução do consumo de energia elétrica das classes beneficiadas pelo PLpT (seJ/cliente)



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 7 explicita que, apesar de a classe residencial ter sido a que mais cresceu em termos de consumo de energia e consumidores nos últimos anos, ela foi a que teve um menor valor de energia investido para manutenção do sistema, sendo que o investimento nesse setor foi praticamente constante durante os anos de implantação do programa.

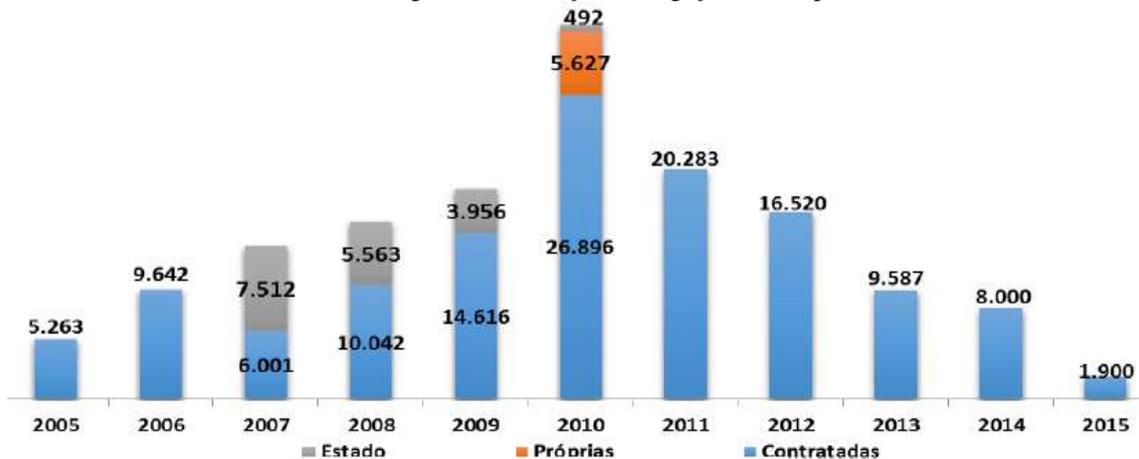
A classe comercial foi a que apresentou maior volume de investimento em energia, quando comparada com a residencial e a rural, crescendo em média, entre os anos de 2004 e 2015, cerca de 4,55% no volume de investimentos.

Quanto à classe rural, o investimento em energia apresentou algumas oscilações ao longo do período estudado: ora ele decrescia, ora crescia, graças à sazonalidade do número de ligações realizadas no Programa Luz para Todos. Porém, em média, o investimento em energia no setor cresceu cerca de 4%.

4.2 Programa Luz para Todos no Piauí

No estado do Piauí, o pacto entre a Companhia Energética do Piauí e o Ministério de Minas e Energia – MME previa o atendimento de 149.600 domicílios rurais, valor que foi ultrapassado, e em dezembro de 2015 o número de domicílios ligados era 151.900, totalizando um investimento em torno de R\$ 1.116.321.000,00. A Figura 8 mostra a evolução do número de ligações do PLpT no estado do Piauí entre os anos de 2005 e 2015 que foram realizadas pelo governo do estado do Piauí, através de convênio, pela própria concessionária e principalmente por empresas terceirizadas contratadas.

Figura 8 – Evolução das ligações do PLpT



Fonte: Relatório Administrativo do ano de 2015 da Eletrobras Distribuição Piauí (2016).

O programa não é exclusivo para ligações dos consumidores ao sistema de distribuição de energia elétrica, ele inclui também reforço do sistema de distribuição de energia, com ampliação e instalação de redes de distribuição, subestações etc. Durante o período de implantação do PLpT (2004 a 2014) no Piauí, foram instalados, em resumo, os seguintes ativos (tabela detalhada no Anexo B):

Tabela 5 – Ativos instalados pelo PLpT

Descrição	2004	2005	2009	2010	2014	Total
Extensão Total em km de Rede	1.029,08	14.823,74	17.393,49	9.538,62	356,9	43.141,83
Postes Implantados	8.966	137.015	184.016	92.665	5.415	428.077
Transformadores de Distribuição	541	10.824	14.407	6.658	1.275	33.705

Fonte: Eletrobras Distribuição Piauí (2016).

A EDPI só disponibiliza em seus relatórios administrativos dados gerais do programa, como número de postes e extensão de rede implantados, sem o detalhamento dos tipos de condutores e postes, nem a classificação dos transformadores implantados no sistema. Em dados disponibilizados diretamente pela empresa, consta somente a lista de materiais dos anos de 2004, 2005, 2009, 2010 e 2014, que foram os anos analisados na contabilidade ambiental.

Para a realização da contabilidade em emergia, foram escolhidos como objetos de estudo postes de 10m/150kgf – padrão de poste empregado no sistema de distribuição –, condutores de CAA (condutor de alumínio com alma de aço) de bitolas de 4 AWG, 4/0 AWG,

2/0 AWG e 1/0 AWG, CA (condutor de alumínio) de bitolas de 4 AWG e 1/0 AWG e de cobre de bitolas de 4 AWG e 6 AWG e transformadores trifásicos de classe de tensão de 15 kV, conforme apresentado na Tabela 6. Condutores (multiplexados) e transformadores de distribuição não foram utilizados, pois não havia especificações técnicas nos catálogos dos fabricantes, que também não responderam à solicitação dessas especificações técnicas.

Tabela 6 – Lista de materiais utilizados na implantação do PLpT

Descrição	2004	2005	2009	2010	2014
Condutores	km	Km	Km	km	Km
Condutor CAA 4 AWG	647,54	9.509,59	11.584,42	6.083,14	34,08
Condutor CAA 4/0 AWG	26,25	201,63	395,73	1054,95	-
Condutor CAA 2/0 AWG	-	184,2	315,37	331,63	16,08
Condutor CAA 1/0 AWG	94,67	393,17	601,11	602,69	45,61
Condutor CA 4 AWG	260,62	4.529,92	4.318,91	870,1	-
Condutor CA 1/0 AWG	0,4	4,24	3,52	0,03	-
Condutor cobre 6 AWG	-	-	31,51	7,19	-
Condutor cobre 4 AWG	-	-	98,06	23,78	-
Postes	Uni.	Uni.	Uni.	Uni.	Uni.
Poste de concreto 10m/150kgf	8.966	137.015	184.016	92.665	5.415
Transformadores	Uni.	Uni.	Uni.	Uni.	Uni.
Trafo trifásico 15 KV 15 KVA	40	101	215	179	80
Trafo trifásico 15 KV 30 KVA	12	59	82	36	14
Trafo trifásico 15 KV 45 KVA	6	15	15	4	4
Trafo trifásico 15 KV 75 KVA	1	2	11	1	-

Fonte: Eletrobras Distribuição Piauí (2016).

Os ativos selecionados para análise são compostos principalmente por concreto, aço, alumínio, cobre e óleo mineral. A Tabela 7 mostra a contabilidade ambiental em emergia da implantação do Programa Luz para Todos no estado do Piauí nos anos de 2004, 2005, 2009, 2010 e 2014.

Tabela 7 – Contabilidade ambiental em energia da implantação do PLpT no Piauí

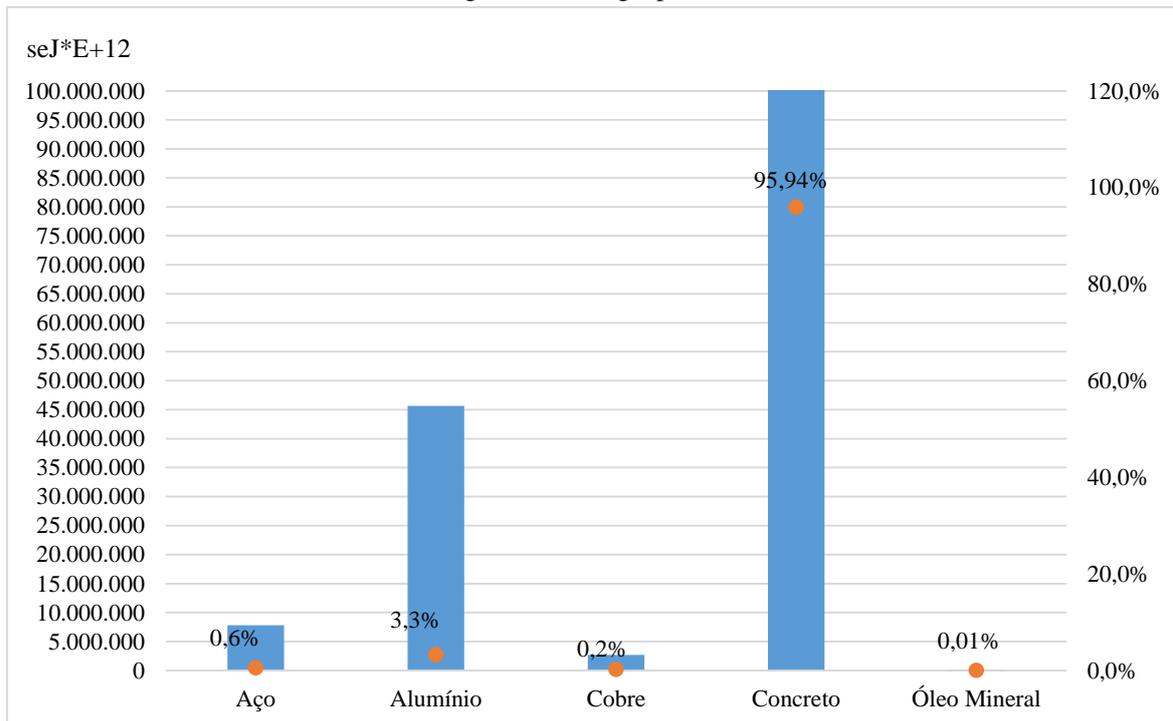
	Material	Quantidade	Unidade	UEV (seJ/uni.)	Energia (seJ)	%
Condutores						
1	Aço	1.220.345.430	g	5,80E+9	7,07800E+18	0,51
2	Alumínio	3.050.866.219	g	14,90E+9	4,56693E+19	3,29
3	Cobre	27.472.520	g	9,80E+10	2,69231E+18	0,19
Subtotal 1					5,51878E+19	4,0
Postes						
4	Concreto	359.584.680.000	g	3,70E+9	1,33046E+21	95,94
Subtotal 2					1,33046E+21	95,94
Transformadores						
5	Aço	130.525.000	g	5,80E+9	7,57045E+17	0,055
6	Óleo Mineral	47.595.000	g	3,69E+9	1,75626E+17	0,015
Subtotal 3					9,32671E+17	0,07
Energia Total					1,38985E+21	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O custo em energia dos transformadores alcançam aproximadamente 0,07% da energia total. Os custos em energia dos condutores são responsáveis por aproximadamente 4% do custo total. Em compensação, o custo em energia dos postes chega a quase 96% da energia total. Essa situação é consequência de um volume maior de material empregado na implantação de postes no sistema de distribuição de energia elétrica implantado pelo PLpT.

Quando há um agrupamento dos materiais utilizados, independentemente de qual ativo ele compoñha, é possível observar de forma mais detalhada qual o custo ambiental de cada material e ainda que percentual da energia total cada um representa (Figura 9).

Figura 9 – Energia por material



Fonte: Elaborado pelo autor.

O concreto foi responsável pelo maior custo em energia na implantação do programa, com cerca de 95,96% da energia total. Os demais materiais somados atingem pouco mais de 4% da energia total, sendo esta distribuída em 3,3% para o alumínio, 0,6% para o aço e 0,2% para o cobre. O óleo mineral foi o material que obteve o menor custo em energia, pouco mais de 0,01%, demonstrando pouca relevância para o custo da energia total do sistema.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para calcular o custo ambiental da implantação do PLpT no estado entre os anos de 2004 e 2015, foi utilizada a contabilidade ambiental em emergia, que é uma ferramenta complementar de análise e tomada de decisões. Tal ferramenta foi mais amplamente utilizada no estudo da contabilidade ambiental da geração de energia elétrica; para os demais sistemas o mais comum são pesquisas que utilizam a Avaliação do Ciclo de Vida.

A implantação do Programa Luz para Todos no estado do Piauí superou a meta inicial de 149.600 domicílios atendidos, e no ano de 2015 alcançou um total de 151.900 ligações. Estima-se que até o final do programa, em 2018, todos os domicílios sem energia elétrica no estado sejam atendidos.

No período de implantação do PLpT (2004 a 2015), o consumo de energia no estado cresceu cerca de 66%, sendo que as classes residencial e comercial foram as que mais cresceram, tendo sido, juntas, no final de 2015, responsáveis por cerca de 70% de todo o consumo em energia elétrica. O consumo de energia elétrica no setor rural teve um crescimento de aproximadamente 78% entre os anos de 2009 e 2014, períodos em que o número de ligações foi mais significativo.

A iluminação pública foi a classe que teve o maior investimento em emergia. Por sua vez, as classes mais afetadas pelo programa (rural, residencial e comercial) obtiveram os seguintes resultados: os custos em emergia dos consumidores residenciais permaneceram praticamente constantes durante os anos de 2004 a 2015; no mesmo período, os consumidores comerciais foram os que tiveram um maior custo ambiental entre as três, e a classe rural, apesar das oscilações dos investimentos, teve um crescimento de cerca 4% no período estudado.

Entre os anos de 2004 e 2015, o PLpT não só ligou os consumidores ao sistema de distribuição de energia como também foi responsável pelo reforço do sistema; foram construídos 43.141,83 quilômetros de rede de distribuição e instalados 428.077 postes e 33.705 transformadores de distribuição.

O estudo da contabilidade em emergia do sistema implantado pelo programa teve que ser limitado aos anos de 2004, 2005, 2009, 2010 e 2014, pois a concessionária não disponibilizou em seus relatórios a lista detalhada, quanto ao tipo, dos materiais que foram instalados durante o PLpT. E, ainda, os fabricantes de transformadores não responderam às solicitações sobre as especificações técnicas dos transformadores utilizados no programa.

Mesmo assim foi possível observar, através deste estudo, que os postes utilizados na expansão da rede de distribuição foram os que tiveram o maior custo em emergia, cerca de 95,94% do custo total, enquanto os condutores representaram cerca de 4% da emergia total e os transformadores não chegaram nem a 1% da emergia total.

Entre os materiais utilizados pelo programa, o concreto foi o que teve o maior custo, 95,94% do custo total, seguido pelo alumínio, com 3,29%, e o cobre somado com o aço, que corresponderam a apenas 0,76% do custo total; o mesmo acontece com o óleo mineral, que não teve tanta representatividade no sistema, alcançando pouco mais de 0,01% da emergia total.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS:

- Ampliar o estudo para todos os anos de implantação do PLpT até a conclusão do programa, prevista para 2018.
- Refazer a análise ambiental utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida.

6 REFERÊNCIAS

ALUBAR CABOS. **Catálogo técnico – Condutores Elétricos de Alumínio**, 2009.

ANELL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Último acesso em fevereiro de 2017.

BASTIANONI, S.; CAMPBELL, D.; SUSANI, L.; TIEZZI, E. The Solar Transformity of Oil and Petroleum Natural Gas. **Ecological Modelling**, v. 86, p. 212-220, 2005.

BROWN, M. T., and S. Ulgiati. Emery Evaluations and Environmental Loading of Electricity Production Systems. **Journal of cleaner production**, v. 10, n. 4, p. 321-334, 2002.

BROWN, Mark T.; RAUGEI, Marco; ULGIATI, Sergio. “On Boundaries and ‘Investments’ in Emery Synthesis and LCA: A Case Study on Thermal vs. Photovoltaic Electricity.” **Ecological Indicators**, v. 15, n. 1, p. 227-235, 2012.

BRÜSEKE, Franz Josef. **O problema do desenvolvimento sustentável. Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez, 1995.

BUONOCORE, E.; VANOLI, L.; CAROTENUTO, A.; ULGIATI, S. (2015). Integrating Life Cycle Assessment and Emery Synthesis for the Evaluation of a Dry Steam Geothermal Power Plant in Italy. **Energy**, v. 86, p. 476-487, 2015.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2006**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2007**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2008**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2009**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2010**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2011**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2012**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2013**. Disponível em: <<http://www.eletrbraspiwai.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2014.** Disponível em: <<http://www.eletrbraspiaui.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

CEPISA. **Relatório Administrativo 2015.** Disponível em: <<http://www.eletrbraspiaui.com/>>. Último acesso em maio de 2016.

COHEN, Matthew J.; BROWN, Mark T.; SHEPHERD, Keith D. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 114, n. 2, p. 249-269, 2006.

ELETRBRAS. Disponível em: <<http://www.eletrbras.com/>>. Último acesso em novembro de 2015.

GASTALDO, Marcelo Machado. Histórico da regulamentação do setor elétrico brasileiro. **Revista O Setor Elétrico**, ed. 36, p. 36-42, 2009.

HARRISON, Gareth P.; KARAMANLIS, Serafeim; OCHOA, Luis F.. “Life Cycle Assessment of the Transmission Network in Great Britain.” **Energy Policy**, v. 38, n. 7, p. 3622-3631, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2000.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Último acesso em novembro de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Último acesso em novembro de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Último acesso em maio de 2016.

ISO, NBR. 14040. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, v. 21, 2009.

JORGE, Raquel S.; HERTWICH, Edgar G. Environmental Evaluation of Power Transmission in Norway. **Applied Energy**, v. 101, p. 513-520, 2013.

JORGE, Raquel Santos; HAWKINS, Troy R.; HERTWICH, Edgar G. “Life Cycle Assessment of Electricity Transmission and Distribution”, parte 1: Power Lines and Cables.” **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2012.

JORGE, Raquel Santos; HAWKINS, Troy R.; HERTWICH, Edgar G. “Life Cycle Assessment of ELECTRICITY TRANSMISSION and Distribution”, parte 2: Transformers and Substation Equipment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 2, p. 184-191, 2012.

JORGE, Raquel S.; HERTWICH, Edgar G. Grid Infrastructure for Renewable Power in Europe: The Environmental Cost. **Energy**, v. 69, p. 760-768, 2014.

LAYRARGUES, Philippe Pomier. “Do ecodesenvolvimento ao desenvolvimento sustentável: evolução de um conceito. **Revista Proposta**, v. 71, p. 5-11, 1997.

LIMA, Ângela Maria Ferreira; TORRES, Ednildo Andrade; KIPERSTOK, Asher. Mapeamento Tecnológico de Patentes e Artigos com o Tema ‘Avaliação Do Ciclo De Vida’.” **Cadernos de Prospecção**, v. 7, n. 3, p. 409, 2014.

MME. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro – Março 2016**. Disponível em: <<http://www.mee.gov.br/>>. Último acesso em fevereiro de 2017.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**. Nova York: John Wiley and Sons, 1996.

PANDEFF, Pando Angeloff; SILVA, Bruna, Figueira da; SARAIVA, Sthefani Nogueira; ESTEVES, Yohans de Oliveira. **O Programa Luz para Todos como promotor do desenvolvimento local e da inclusão social no estado do Rio de Janeiro: uma análise a partir da empresa AMPLA S/A**. Rio de Janeiro, 2014.

PAZZINI, Luiz Henrique Alves; RIBEIRO, Fernando Selles; KURAHASSI, Luiz Fernando. Luz para Todos no campo: a universalização do atendimento de energia elétrica na zona rural brasileira. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural** (2002).

SAUER, Ildo. **Um novo modelo para o setor elétrico brasileiro**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.

STRAZZI, P. E.; JÚNIOR, G. B.; MARQUES, F.; RIBEIRO, F. S.; GUERRA, S. M. G.. **Programa ‘Luz para Todos’**: a necessidade do aporte de recursos subsidiados. Estudo de caso Elektro. Fortaleza, 2008.

YANG, Q.; CHEN, G. Q.; LIAO, S.; ZHAO, Y. H.; PENG, H. W.; CHEN, H. P. Environmental Sustainability of Wind Power: An Emergy Analysis of a Chinese Wind Farm. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 25, 2013, pp. 229-239.

ANEXOS

ANEXO A: DECRETO Nº 4.873, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003

DECRETO Nº 4.873, DE 11 DE NOVEMBRO DE 2003.

Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “LUZ PARA TODOS” e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 84, incisos IV e VI, alínea “a”, da Constituição, e tendo em vista o disposto nos arts. 13, inciso V, e 14, § 12, da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002,

D E C R E T A:

Art. 1º Fica instituído o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “LUZ PARA TODOS”, destinado a propiciar, até o ano de 2008, o atendimento em energia elétrica à parcela da população do meio rural brasileiro que ainda não possui acesso a esse serviço público.

Art. 2º Os recursos necessários para o custeio do Programa serão oriundos da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, instituída como subvenção econômica pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, da Reserva Global de Reversão – RGR, instituída pela Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, de agentes do setor elétrico, da participação dos Estados, Municípios e outros destinados ao Programa.

Art. 3º O Programa “LUZ PARA TODOS” será coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e operacionalizado com a participação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRAS e das empresas que compõem o sistema ELETROBRAS.

Art. 4º A estrutura do Programa “LUZ PARA TODOS” será composta pela Comissão Nacional de Universalização, por um Comitê Gestor Nacional de Universalização e por Comitês Gestores Estaduais, que, em conjunto, garantirão a gestão compartilhada do Programa.

§ 1º A Comissão Nacional de Universalização, com a finalidade de estabelecer ações de desenvolvimento integrado no meio rural, em consonância com os diversos programas governamentais existentes, tem a seguinte composição:

I - Ministro de Estado de Minas e Energia, que o coordenará;

II - Ministro de Estado Chefe da Casa Civil da Presidência da República;

- III - Ministro de Estado da Fazenda;
- IV - Ministro de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão;
- V - Ministro de Estado do Desenvolvimento Agrário;
- VI - Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
- VII - Ministro de Estado Extraordinário de Segurança Alimentar e Combate à Fome;
- VIII - Ministro de Estado da Integração Nacional;
- IX - Ministro de Estado da Educação;
- X - Ministro de Estado da Saúde;
- XI - Ministro de Estado do Meio Ambiente;
- XII - Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia;
- XIII - Ministro de Estado do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- XIV - Presidente do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;
- XV - Presidente do Fórum Nacional dos Secretários de Energia dos Estados; e
- XVI - Diretor-Geral da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

§ 2º O Comitê Gestor Nacional de Universalização será instituído pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, que indicará sua composição, atribuições e competências.

§ 3º Os Comitês Gestores Estaduais serão instituídos mediante ato do Ministro de Estado de Minas e Energia, que indicará suas atribuições, competências e o seu coordenador.

§ 4º A composição dos Comitês Gestores de que trata o § 3º será estabelecida em conjunto com os respectivos Governos estaduais.

Art. 5º O Programa “LUZ PARA TODOS” observará as seguintes prioridades:

- I - projetos em Municípios com índice de atendimento inferior a 85%, segundo dados do Censo 2000;
- II - projetos de eletrificação rural que beneficiem populações atingidas por barragens, cuja responsabilidade não esteja definida para o executor do empreendimento;
- III - projetos de eletrificação rural que enfoquem o uso produtivo da energia elétrica e que fomentem o desenvolvimento local integrado;
- IV - projetos de eletrificação rural em escolas públicas, postos de saúde e poços de abastecimento d'água;
- V - projetos de eletrificação rural que visem atender a assentamentos rurais; e
- VI - projetos de eletrificação para o desenvolvimento da agricultura familiar.

Art. 6º Serão contemplados como alternativa de atendimento da execução do

Programa “LUZ PARA TODOS” a extensão de redes convencionais e ainda os sistemas de geração descentralizados, com redes isoladas ou sistemas individuais, nos termos do manual de operacionalização de que trata o art. 7º.

Art. 7º O Ministério de Minas e Energia deverá, no prazo de trinta dias, editar o manual de operacionalização do Programa e demais normas pertinentes à sua execução.

Art. 8º Este Decreto entra em vigor na data da sua publicação.

Brasília, 11 de novembro de 2003; 182º da Independência e 115º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Dilma Vana Rousseff

Publicado no D.O. de 12.11.2003, seção 1, p. 130, v. 140, n. 220.

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 12.11.2003.

ANEXO B: LISTA DE MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPLANTAÇÃO DO PLpT

Tabela B.1.: Lista de materiais instalados pelo PLpT

DESCRIÇÃO	2004	2005	2009	2010	2014	TOTAL
Transformador	Qtd Utilizada (Unid.)					
TRAFÓ BIFÁSICO 15 KV 5 KVA	54	1185	1406	673	162	3480
TRAFÓ BIFÁSICO 15KV 10KVA	11	173	246	73	254	757
TRAFÓ BIFÁSICO 15KV 15KVA	7	26	45	15	10	103
TRAFÓ BIFÁSICO 35KV 10KVA		50	94	40	137	321
TRAFÓ BIFÁSICO 35KV 15KVA		6	7	7	22	42
TRAFÓ BIFÁSICO 35KV 5KVA		365	528	551	105	1549
TRAFÓ MONOFÁSICO 15 KV 10 KVA	71	538	822	270	21	1722
TRAFÓ MONOFÁSICO 15 KV 15 KVA	12	156	109	22	25	324
TRAFÓ MONOFÁSICO 15 KV 5 KVA	327	6392	8776	3434	301	19230
TRAFÓ MONOFÁSICO 35 KV 10 KVA		115	123	90	25	353
TRAFÓ MONOFÁSICO 35 KV 15 KVA		8	18		11	37
TRAFÓ MONOFÁSICO 35 KV 5 KVA		1597	1851	1203	70	4721
TRAFÓ TRIFÁSICO 15 KV 15 KVA	40	101	215	179	80	615
TRAFÓ TRIFÁSICO 15 KV 150 KVA					0	0
TRAFÓ TRIFÁSICO 15 KV 30 KVA	12	59	82	36	14	203
TRAFÓ TRIFÁSICO 15 KV 45 KVA	6	15	15	4	4	44
TRAFÓ TRIFÁSICO 15 KV 75 KVA	1	2	11	1	0	15
TRAFÓ TRIFÁSICO 35 KV 15 KVA		21	48	51	31	151
TRAFÓ TRIFÁSICO 35 KV 30 KVA		11	9	7	1	28
TRAFÓ TRIFÁSICO 35 KV 45 KVA		3	2	2	1	8
TRAFÓ TRIFÁSICO 35 KV 75 KVA		1		0	0	1
Poste	Qtd Utilizada (Unid.)					
POSTE CONCRETO	8966	137015	184016	92665	5415	428077
Rede AT	Qtd Utilizada (Km)					
BI/TRI ADIÇÃO DE FASE - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG			111,87	49,05	0,32	161,24
BI/TRI ADIÇÃO DE FASE - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG			9,73	0	0	9,73
BIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG	66,1	441,44	1001,88	620,62	0	2130,04
BIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		91,71	163,19	293,22	28,33	576,45
MONO/BI ADIÇÃO DE FASE - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		116,08	253,76	112,31		482,15
MONO/BI ADIÇÃO DE FASE - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		8,02	15,28	4,9		28,2

MONO/TRI ADIÇÃO DE FASE - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		138,56	303,19	171,44	0	613,19
MONO/TRI ADIÇÃO DE FASE - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		74,14	25,88	39,87	0	139,89
MRT - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG	356,28	5690,82	7095,52	2872,73		16015,35
MRT - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR COBRE 4 AWG			98,06	23,78		121,84
MRT - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR FIO AÇO ALUMINIZADO AS 5 AWG			48,38	17,72		66,1
MRT - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		1262,82	1009,42	966,45		3238,69
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR 1/0 CAA (Adição Bif p/ Trif. c/ Recond.)				0	0	0
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR 1/0 CAA (Adição Mono p/ Trif. c/ Recond.)			8,52	0	0	8,52
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 1/0 AWG	45,23	160,88	266,31	316,89	16,42	805,73
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 2/0 AWG			146,44	187,69	0	334,13
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG	225,16	1232,91	1464,85	726,68	0,45	3650,05
TRIFÁSICO - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4/0 AWG		29,41	157,48	432,82	0	619,71
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR 1/0 CAA (Adição Bif p/ Trif. c/ Recond.)				3,48	0	3,48
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR 1/0 CAA (Adição Mono p/ Trif. c/ Recond.)				0	0	0
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 1/0 AWG		18	191,1	175,12	7,91	392,13
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 2/0 AWG			70,13	125,39	0	195,52
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4 AWG		453,09	129,85	225,87	4,98	813,79
TRIFÁSICO - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4/0 AWG		40,62	194,47	592,06	0	827,15
TRIFÁSICO RECOND. - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 1/0 AWG	49,44	214,29	135,18	107,2	21,28	527,39
TRIFÁSICO RECOND. - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 2/0 AWG		184,2	98,8	2,31	16,08	301,39
TRIFÁSICO RECOND. - 15.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4/0 AWG	26,25	49,79	43,78	0	0	119,82
TRIFÁSICO RECOND. - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 1/0 AWG				0	0	0
TRIFÁSICO RECOND. - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 2/0 AWG				16,24	0	16,24
TRIFÁSICO RECOND. - 35.0 KV - Fase: CONDUTOR CAA 4/0 AWG		81,81		30,07	0	111,88
Rede BT	Qtd Utilizada (Km)					
BIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO TRIPLEX BT 2X1X25+25 MM2				4,34	2,15	6,49
BIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	9,92	89,26	37,76	6,77		143,71

MONOFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO DUPLEX BT 1X1X25+25 MM2				414,07	169,75	583,82
MONOFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	155,43	2980,26	2798,92	569,27		6503,88
MONOFÁSICO - Fase: CONDUTOR COBRE 6 AWG - Neutro: CONDUTOR COBRE 6 AWG			19,17	6,22		25,39
TRIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO QUADRUPLEX BT 3X1X25+25 MM2				15,85	23,88	39,73
TRIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO QUADRUPLEX BT 3X1X50+50 MM2				0,21	0,88	1,09
TRIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 1/0 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	0,4	0,41	1,82	0,03		2,66
TRIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	10,66	73,06	66,24	17,84		167,8
Rede AT/BT Conjugada	Qtd Utilizada (Km)					
BIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO TRIPLEX BT 2X1X25+25 MM2				2,21	1,22	3,43
BIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	4,04	52,15	35,42	12,47		104,08
MONOFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO DUPLEX BT 1X1X25+25 MM2				105,29	58,29	163,58
MONOFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	75,57	1278,53	1330,24	256,49		2940,83
MONOFÁSICO - Fase: CONDUTOR COBRE 6 AWG - Neutro: CONDUTOR COBRE 6 AWG			12,34	0,97		13,31
TRIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO QUADRUPLEX BT 3X1X25+25 MM2				4,98	4,91	9,89
TRIFÁSICO - Fase: CABO ALUMÍNIO QUADRUPLEX BT 3X1X50+50 MM2				0,47	0,05	0,52
TRIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 1/0 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG		3,83	1,7	0		5,53
TRIFÁSICO - Fase: CONDUTOR CA 4 AWG - Neutro: CONDUTOR CA 4 AWG	4,6	52,42	46,81	7,23		111,06

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO C: MEMORIAL DE CÁLCULO

C1. Consumo de energia elétrica

Tabela C.1: Consumo de energia Elétrica em MWh

CLASSE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RESIDENCIAL	625.331	662.654	665.084	710.125	759.959	807.695	989.528	1.028.674	1.194.233	1.327.936	1.431.593	1.526.439
COMERCIAL	286.839	311.852	332.004	350.847	369.849	388.716	453.775	491.320	572.242	609.617	659.465	702.029
INDUSTRIAL	177.800	187.577	197.162	207.291	235.932	231.367	251.424	245.272	227.822	193.042	215.788	218.090
RURAL	74.175	80.773	73.652	83.277	81.719	79.862	98.277	102.054	128.646	128.739	142.042	152.350
PODER PÚBLICO	110.311	119.534	133.428	135.404	145.906	151.355	173.530	172.104	203.878	214.938	221.152	225.927
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	113.437	112.029	112.638	115.313	118.579	121.840	124.960	127.732	144.904	174.710	188.457	183.478
SERVIÇO PÚBLICO	101.049	105.298	110.811	112.308	115.410	112.680	124.122	131.156	152.184	147.838	154.196	157.309
PRÓPRIO	3.527	3.445	3.295	3.288	3.126	3.112	3.247	3.346	3.920	4.004	3.778	3.505
PIAUI	1.492.469	1.583.162	1.628.074	1.717.853	1.830.480	1.896.627	2.218.863	2.301.658	2.627.829	2.800.824	3.016.471	3.169.127

Fonte: Eletrobras Distribuição Piauí, 2016.

Como os dados sobre a energia elétrica são fornecidos em MWh, para que seja realizado o cálculo em energia é necessário transformá-la para J. Para isso foi utilizado o fator de transformação de MWh para J de $3,66 \cdot 10^9$, ou seja, todos os valores em MWh serão multiplicados pelo fator de transformação.

Tabela C.2: Consumo de energia Elétrica em J

CLASSE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RESIDENCIAL	2,25E+15	2,39E+15	2,39E+15	2,56E+15	2,74E+15	2,91E+15	3,56E+15	3,7E+15	4,3E+15	4,78E+15	5,15E+15	5,5E+15
COMERCIAL	1,03E+15	1,12E+15	1,2E+15	1,26E+15	1,33E+15	1,4E+15	1,63E+15	1,77E+15	2,06E+15	2,19E+15	2,37E+15	2,53E+15
INDUSTRIAL	6,4E+14	6,75E+14	7,1E+14	7,46E+14	8,49E+14	8,33E+14	9,05E+14	8,83E+14	8,2E+14	6,95E+14	7,77E+14	7,85E+14
RURAL	2,67E+14	2,91E+14	2,65E+14	3E+14	2,94E+14	2,88E+14	3,54E+14	3,67E+14	4,63E+14	4,63E+14	5,11E+14	5,48E+14
PODER PÚBLICO	3,97E+14	4,3E+14	4,8E+14	4,87E+14	5,25E+14	5,45E+14	6,25E+14	6,2E+14	7,34E+14	7,74E+14	7,96E+14	8,13E+14
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	4,08E+14	4,03E+14	4,05E+14	4,15E+14	4,27E+14	4,39E+14	4,5E+14	4,6E+14	5,22E+14	6,29E+14	6,78E+14	6,61E+14
SERVIÇO PÚBLICO	3,64E+14	3,79E+14	3,99E+14	4,04E+14	4,15E+14	4,06E+14	4,47E+14	4,72E+14	5,48E+14	5,32E+14	5,55E+14	5,66E+14
PRÓPRIO	1,27E+13	1,24E+13	1,19E+13	1,18E+13	1,13E+13	1,12E+13	1,17E+13	1,2E+13	1,41E+13	1,44E+13	1,36E+13	1,26E+13
PIAUI	5,37E+15	5,7E+15	5,86E+15	6,18E+15	6,59E+15	6,83E+15	7,99E+15	8,29E+15	9,46E+15	1,01E+16	1,09E+16	1,14E+16

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após transformar a energia elétrica para unidade de medida J, será utilizado o UEV da eletricidade de $2,66 \times 10^5$ seJ/J, resultando na energia do consumo de energia elétrica no estado do Piauí.

Tabela C.3: Emergia (seJ) do consumo de energia elétrica

CLASSE	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
RESIDENCIAL	5,99E+20	6,35E+20	6,37E+20	6,8E+20	7,28E+20	7,73E+20	9,48E+20	9,85E+20	1,14E+21	1,27E+21	1,37E+21	1,46E+21
COMERCIAL	2,75E+20	2,99E+20	3,18E+20	3,36E+20	3,54E+20	3,72E+20	4,35E+20	4,7E+20	5,48E+20	5,84E+20	6,32E+20	6,72E+20
INDUSTRIAL	1,7E+20	1,8E+20	1,89E+20	1,99E+20	2,26E+20	2,22E+20	2,41E+20	2,35E+20	2,18E+20	1,85E+20	2,07E+20	2,09E+20
RURAL	7,1E+19	7,73E+19	7,05E+19	7,97E+19	7,83E+19	7,65E+19	9,41E+19	9,77E+19	1,23E+20	1,23E+20	1,36E+20	1,46E+20
PODER PÚBLICO	1,06E+20	1,14E+20	1,28E+20	1,3E+20	1,4E+20	1,45E+20	1,66E+20	1,65E+20	1,95E+20	2,06E+20	2,12E+20	2,16E+20
ILUMINAÇÃO PÚBLICA	1,09E+20	1,07E+20	1,08E+20	1,1E+20	1,14E+20	1,17E+20	1,2E+20	1,22E+20	1,39E+20	1,67E+20	1,8E+20	1,76E+20
SERVIÇO PÚBLICO	9,68E+19	1,01E+20	1,06E+20	1,08E+20	1,11E+20	1,08E+20	1,19E+20	1,26E+20	1,46E+20	1,42E+20	1,48E+20	1,51E+20
PRÓPRIO	3,38E+18	3,3E+18	3,16E+18	3,15E+18	2,99E+18	2,98E+18	3,11E+18	3,2E+18	3,75E+18	3,83E+18	3,62E+18	3,36E+18
PIAÚÍ	1,43E+21	1,52E+21	1,56E+21	1,65E+21	1,75E+21	1,82E+21	2,12E+21	2,2E+21	2,52E+21	2,68E+21	2,89E+21	3,03E+21

Fonte: Elaborado pelo autor.

C2. Materiais implantados no Programa Luz para Todos

Condutores:

Tabela C.4: Condutores em Km

Anos	2004	2005	2009	2010	2014
Unidade	Km	Km	Km	Km	Km
CONDUTOR CAA 4 AWG	647,54	9.509,59	11.584,42	6.106,92	34,08
CONDUTOR CAA 4/0 AWG	26,25	201,63	395,73	1054,95	0
CONDUTOR CAA 2/0 AWG		184,2	315,37	331,63	16,08
CONDUTOR CAA 1/0 AWG	94,67	393,17	601,11	602,69	45,61
CONDUTOR CA 4 AWG	260,62	4.529,92	4.318,91	870,1	
CONDUTOR CA 1/0 AWG	0,4	4,24	3,52	0,03	
CONDUTOR COBRE 6 AWG			31,51	7,19	
CONDUTOR COBRE 4 AWG			98,06	23,78	
TOTAL	1.029,48	14.822,75	17.348,63	8.997,29	95,77

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como os dados sobre os condutores são fornecidos em Km, para que seja realizado o cálculo em energia é necessário transformá-los em g. Para isso foram utilizados os seguintes fatores:

Tabela C.5: Proporção de g/km de materiais por tipo de cabo

	AL G/KM	AÇO G/KM	CU G/KM
CONDUTOR CAA 4 AWG	57.000	28.000	
CONDUTOR CAA 4/0 AWG	290.000	143.000	
CONDUTOR CAA 2/0 AWG	183.000	90.000	
CONDUTOR CAA 1/0 AWG	145.000	71.000	
CONDUTOR CA 4 AWG	58.200		
CONDUTOR CA 1/0 AWG	147.100		
CONDUTOR COBRE 6 AWG			118.000
CONDUTOR COBRE 4 AWG			188.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

O que resultou no quantitativo de material em gramas (g).

Tabela C.6: Condutores em g

	Km TOTAL	AÇO (g)	ALUMÍNIO (g)	COBRE (g)
CONDUTOR CAA 4 AWG	27882,55	780.711.400	1.589.305.350	
CONDUTOR CAA 4/0 AWG	1678,56	240.034.080	486.782.400	
CONDUTOR CAA 2/0 AWG	847,28	76.255.200	155.052.240	
CONDUTOR CAA 1/0 AWG	1737,25	123.344.750	251.901.250	
CONDUTOR CA 4 AWG	9979,55		580.809.810	
CONDUTOR CA 1/0 AWG	8,19		1.204.749	
CONDUTOR COBRE 6 AWG	38,7			4.566.600
CONDUTOR COBRE 4 AWG	121,84			22.905.920
TOTAL		1.220.345.430	3.065.055.799	27.472.520

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após transformar os condutores para unidade de g, serão utilizados os UEVs $5,80E+09$ seJ/g para aço, $9,80E+10$ seJ/g para cobre e $14,90E+09$ seJ/g para alumínio.

Tabela C.7: Emergia (seJ) dos condutores

	AÇO (seJ)	ALUMÍNIO (seJ)	COBRE (seJ)
CONDUTOR CAA 4 AWG	4.528.126.120.000.000.000	23.680.649.715.000.000.000	0
CONDUTOR CAA 4/0 AWG	1.392.197.664.000.000.000	7.253.057.760.000.000.000	0
CONDUTOR CAA 2/0 AWG	442.280.160.000.000.000	2.310.278.376.000.000.000	0
CONDUTOR CAA 1/0 AWG	715.399.550.000.000.000	3.753.328.625.000.000.000	0
CONDUTOR CA 4 AWG	0	8.654.066.169.000.000.000	0
CONDUTOR CA 1/0 AWG	0	17.950.760.100.000.000	0
CONDUTOR COBRE 6 AWG	0	0	447.526.800.000.000.000
CONDUTOR COBRE 4 AWG	0	0	2.244.780.160.000.000.000
TOTAL	7.078.003.494.000.000.000	45.669.331.405.100.000.000	2.692.306.960.000.000.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Postes:

Tabela C.8: Postes implantados no PLpT

Material	2004	2005	2009	2010	2014	TOTAL
	UNI	UNI	UNI	UNI	UNI	
POSTE DE CONCRETO	8.966	137.015	184.016	92.665	5.415	428.077

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os postes são fornecidos por unidade; para o cálculo serão utilizados como padrão os postes de dez metros e com o esforço de 150 kgf (10m/150 kgf), que corresponde a 840.000 g de concreto por poste. Resultando em um total de 359.584.680.000 g de concreto utilizados.

$$\text{Concreto total} = 428.077 * 840.000$$

$$\text{Concreto total} = 359.584.680.000 \text{ g}$$

Para o cálculo em energia foi utilizado o UEV do concreto de 3,7 E+09 seJ/g, assim:

$$\text{Energia} = 359.584.680.000 * 3,7 \text{ E}+09$$

$$\text{Energia} = 1.330.463.316.000.000.000 \text{ seJ}$$

Transformadores:

Tabela C.9: Transformadores de classe de 15 kV

Transformador	2004	2005	2009	2010	2014	TOTAL
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 15 KVA	40	101	215	179	80	615
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 150 KVA					0	0
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 30 KVA	12	59	82	36	14	203
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 45 KVA	6	15	15	4	4	44
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 75 KVA	1	2	11	1	0	15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como os dados sobre os transformadores são fornecidos em unidade, para que seja realizado o cálculo em energia é necessário transformá-los em g. Para isso foram utilizados os seguintes fatores:

Tabela C.10: Proporção de g/unidade de materiais por tipo de transformador:

Transformador	Peso Total (g)	ÓLEO (G/uni)	AÇO (G/uni)
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 15 KVA	185000	55000	130000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 150 KVA	595000	115000	480000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 30 KVA	230000	50000	180000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 45 KVA	270000	55000	215000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 75 KVA	385000	80000	305000
TOTAL	1665000	355000	1310000

Fonte: Elaborado pelo autor.

O que resultou no quantitativo de material em gramas (g).

C.11: Transformadores em gramas (g)

Transformador	ÓLEO (G)	AÇO (G)
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 15 KVA	33825000	79950000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 150 KVA	0	0
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 30 KVA	10150000	36540000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 45 KVA	2420000	9460000
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 75 KVA	1200000	4575000
TOTAL	47595000	130525000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após transformar os transformadores para unidade de medida em g, serão utilizados os UEVs de $5,80E+09$ seJ/g para aço e de $3,69E+09$ seJ/g.

Tabela C.12: Emergia (seJ) dos transformadores.

Transformador	ÓLEO (seJ)	AÇO (seJ)
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 15 KVA	1,24814E+17	4,6371E+17
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 150 KVA	0	0
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 30 KVA	3,74535E+16	2,1193E+17
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 45 KVA	8,9298E+15	5,4868E+16
TRAFO TRIFÁSICO 15 KV 75 KVA	4,428E+15	2,6535E+16
TOTAL	1,75626E+17	7,5705E+17

Fonte: Elaborado pelo autor.