UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento

LUCÉLIA MARIA CASA GRANDE

PROSPECÇÃO E MODELAGEM DOS INDICADORES DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA NO BRASIL SUPORTADA PELA TEORIA DOS GRAFOS

TUPÃ-SP
2020

LUCÉLIA MARIA CASA GRANDE

PROSPECÇÃO E MODELAGEM DOS INDICADORES DE PRODUÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL SUPORTADA PELA TEORIA DOS GRAFOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Tupã, como requisito para a qualificação para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio e Desenvolvimento.

Área de concentração: Agronegócio e Desenvolvimento

Linha de pesquisa: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho

Coorientador: Prof. Dr. Mario Mollo Neto

Coorientador: Profa. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

TUPÃ-SP
2020

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Biblioteca e Documentação da FCE – Unesp, Câmpus Tupã:

C26p

Casa Grande, Lucélia Maria .
Prospecção e modelagem dos indicadores de produção de energia primária no Brasil suportada pela Teoria dos Grafos / Lucélia Maria Casa Grande. – Tupã: [s.n.], 2020.
106 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista UNESP – Faculdade de Ciências e Engenharia, 2020.

Orientador: Luís Roberto Almeida Gabriel Filho
Coorientador: Mario Mollo Neto
Coorientadora: Camila Pires: Cremasco Gabriel
Inclui bibliografia.

1. Energia Primária. 2. Teoria dos Grafos. 3. Software UCINET. I. Título. II. Autor.

Fonte: Eliana Kátia Pupim, bibliotecária CRB 8 – 6202.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Tupã

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Prospecção e modelagem dos indicadores de produção de energia primária no Brasil suportada pela teoria dos grafos

AUTORA: LUCÉLIA MARIA CASA GRANDE
ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
COORIENTADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL
COORIENTADOR: MARIO MOLLO NETO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONEGÓCIO E DESENVOLVIMENTO, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Prof. Dr. EDUARDO GUILHERME SATOLO
Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP

Prof. Dr. LUÍS HILARIO TOBLER GARCIA
Curso de Big Data no Agronegócio / Faculdade de Tecnologia - FATEC - Pompeia/SP

Tupã, 18 de fevereiro de 2020

Dedico,

Ao meu pai, Albino Casagrande, (in memoriam) que foi embora cedo demais e deixou tantas saudades...

A minha mãe Sildes Menis que é minha companheira em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho por ter me recebido e sempre me mostrado o caminho correto a ser seguido de forma única, admirável e exemplar. Desejo contribuir com a ciência com a mesma ética e entusiasmo que me transmitiu.

Registro meu agradecimento ao meu querido coorientador Prof. Dr. Mário Mollo, pelos importantes direcionamentos passados em todos os momentos desde o início da minha pesquisa, pela amizade e pela compreensão.

Da mesma forma, agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Guilherme Satolo e Prof. Dr. Timóteo Ramos Queiroz por aceitarem participar da minha banca de qualificação e assim, juntamente com o Prof. Dr. Luís Hilário Tobler Garcia se disponibilizarem a contribuir a esta pesquisa e aos quais, portanto manifesto meu agradecimento.

A Profa. Dra. Camila Pires Cremasco por todo apoio.

Aos funcionários e docentes da Faculdade de Ciências e Engenharia – UNESP Campus de Tupã, por toda presteza e solicitude no atendimento quando se fez necessário durante esses anos.

Agradeço ao Fábio Fontolan Sampaio por toda dedicação.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos e familiares, em especial a Lais Yuri Choyama por todo companheirismo mesmo de longe.

Agradeço os meus amigos do PGAD, por toda ajuda.

Por fim, agradeço aos meus pais, em especial meu pai que me ajudou durante quase todo o mestrado, sem o suporte dele, não seria possível a conclusão dessa pesquisa. Desejo poder ter sido merecedora do esforço dedicado por eles em todos os aspectos, especialmente quanto a minha formação.

Nada é o que parece ser.

O mar de longe é azul, de perto é verde, por dentro, transparente.

Aparentemente, tudo é diferente do que realmente é. Eis então o segredo para não julgar: em vez de olhar o mar de longe, mergulhe!

(Autor desconhecido)

Casa Grande, Lucélia Maria. Prospecção e modelagem dos indicadores de produção de energia primária no Brasil suportada pela Teoria dos Grafos. 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2020.

RESUMO

Essa pesquisa apresenta um estudo sobre o cenário da produção de energia primária no Brasil ao longo do período de 1970 a 2018, bem como as principais fontes que colaboraram para a matriz energética nacional. Para mapear as tendências da produção de energia primária foi aplicada a Teoria dos Grafos e Análise de Redes Sociais por meio do *Software* UCINET, no qual foram produzidos grafos demonstrando as redes sociais de produção de energia que contribuíram para o Brasil. Também são apresentados nesse trabalho os modelos matemáticos que representam a variação da centralidade e densidade da produção de energia primária brasileira. Os resultados da pesquisa demonstram a evolução da produção de energia primária e a forte base de energia fóssil (petróleo) e mais recentemente o aumento significativo, da contribuição de energia da fonte gás natural. Com base nos resultados obtidos e a prospecção da literatura sobre economia do Brasil no período compreendido entre os anos de 1970 a 2018 discutiu-se os movimentos realizados por formuladores de políticas públicas do cenário nacional que culminaram numa redução dos investimentos no setor, mesmo que a demanda sempre se encontrasse em crescimento, mas que seguiu atrelada aos resultados de pequenos incrementos no PIB e no IDH. Outro importante resultado foi observado com a evolução e do petróleo como oferta de fonte primária não renovável por todo o período da pesquisa (48 anos) e a alternância das ofertas das fontes não renováveis que, iniciando com a predominância da lenha, passando para a geração de energia hidráulica que foi a mais importante por duas décadas e a substituição pelos produtos derivados da cana, o que se estende até o ano de 2018. Observou-se também que no período de 2010 a 2018, a participação de oferta das fontes primárias renováveis, em termos percentuais, já não está tão distante das participações das ofertas das fontes primárias não renováveis, quase chegando a dividir igualmente disponibilidade para a composição da matriz brasileira.

Palavras-chave: Energia primária. Teoria dos grafos. S*oftware* Ucinet.

Casa Grande, Lucélia Maria. Prospecção e modelagem dos indicadores de produção de energia primária no Brasil suportada pela Teoria dos Grafos. 2020. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) - Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Tupã, 2020.

ABSTRACT

This research presents a study on the scenario of primary energy production in Brazil over the period from 1970 to 2018, as well as the main sources that contributed to the national energy matrix. To map trends in primary energy production, Graph Theory and Social Network Analysis was applied using the UCINET Software, in which graphs were produced showing the social energy production networks that contributed to Brazil. Also presented in this work are mathematical models that represent the variation in the centrality and density of Brazilian primary energy production. The research results demonstrate the evolution of primary energy production, and the strong fossil energy base (oil) and more recently the significant increase in the contribution of energy from the natural gas source. Based on the results obtained and the prospecting of literature on the economy of Brazil in the period between the years 1970 to 2018, it became possible to discuss the movements carried out by public policy makers on the national scene that culminated in a reduction of investments in the sector, even that demand would always be growing, but that it would continue to be linked to the results of small increases in GDP and HDI. Another important result was observed with the evolution of oil as a non-renewable primary source offer for the entire period of the research (48 years) and the alternation of offers from non-renewable sources that, starting with the predominance of firewood, passing on to generation of hydraulic energy that was the most important for two decades and the substitution by products derived from sugarcane, which extends until the year 2018. It was also observed that in the period from 2010 to 2018, the share of supply from renewable primary sources, in percentage terms, it is no longer so distant from the share of offers from non-renewable primary sources, almost even dividing availability for the composition of the Brazilian matrix.

Keywords: Primary energy. Graph theory. Ucinet *software.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produtores, exportações líquidas e importadores líquidos de carvão. 32
Tabela 2 *- Produção de energia primária no Brasil 1970-1979* **10³ tep (toe)**.....44
Tabela 3 - Produção de energia primária no Brasil 1980-1989 10³ tep (toe).....46
Tabela 4 - Produção de energia primária no Brasil 1990-1999 **10³ tep (toe)**.....48
Tabela 5 - Produção de energia primária no Brasil 2000-2009 **10³ tep (toe)**.....50
Tabela 6 - Produção de energia primária no Brasil 2010-2018 **10³ tep (toe)**.....52
Tabela 7 – 4.4 Tabela das centralidades obtidas dos processamentos de 1970 a 2018.....56
Tabela 8 - Tabela das densidades obtidas dos processamentos de 1970 a 2018....57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta Interna de Energia.....24
Figura 2 - Representação esquemática dos fluxos de energia primária, secundária e final. 25
Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte 26
Figura 4 - Consumo de eletricidade per capita mundial 2016 27
Figura 5 - Evolução dos indicadores: energia 28
Figura 6 - Estimativa per capita de Energia (Brasil). 28
Figura 7- Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade.....30
Figura 8 – Participação da energia eólica nos estados. 34
Figura 9 - Matriz de Produção de Energia Elétrica Brasil– Janeiro/2019.....35
Figura 10 – Construção do arquivo VNA para o ano de 1970 para análise de redes. 53
Figura 11 - Imagem do arquivo de resposta obtido para o processamento dos VNA para centralidade do ano 1970. 54
Figura 12 - Imagem do arquivo de resposta obtido para o processamento dos VNA para densidade do ano 1970 55
Figura 13 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1970. 58
Figura 14 - Imagem do grafo obtido com a compilação de todos os dados de centralidades para os anos de 1970 a 2018. 60
Figura 15 - Linha do tempo com destaque aos períodos temporais identificados no gráfico das centralidades. 61
Figura 16 - Imagem do grafo obtido com a compilação de todos os dados de densidades para os anos de 1970 a 2018. 65
Figura 17 – Crescimento do PIB Brasileiro para os anos de 1960 a 2018. 66
Figura 18 – Crescimento do IDH Brasileiro para os anos de 1980a 2014. 67
Figura 19 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1971. 80
Figura 20 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1972. 80
Figura 21 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1973 81

Figura 22 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1974. 82
Figura 23 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1975. 82
Figura 24 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1976. 82
Figura 25 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1977. 83
Figura 26 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1978. 83
Figura 27 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1979. 84
Figura 28 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1980. 84
Figura 29 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1981. 85
Figura 30 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1982. 86
Figura 31 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1983. 86
Figura 32 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1984. 87
Figura 33 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1985. 87
Figura 34 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1986. 87
Figura 35 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1987. 88
Figura 36 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1988. 88
Figura 37 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1989. 89
Figura 38 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1990. 89

Figura 39 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1991. 90
Figura 40 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1992. 91
Figura 41 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1993. 91
Figura 42 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1994. 92
Figura 43 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1995. 92
Figura 44 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1996. 93
Figura 45 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1997. 93
Figura 46 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1998. 94
Figura 47 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1999. 94
Figura 48 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2000. 95
Figura 49 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2001. 95
Figura 50 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2002. 96
Figura 51 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2003. 96
Figura 52 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2004. 97
Figura 53 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2005. 97
Figura 54 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2006. 98
Figura 55 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2007. 98

Figura 56 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2008. 99
Figura 57 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2009. 99
Figura 58 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2010. 100
Figura 59 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2011. 100
Figura 60 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2012. 101
Figura 61 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2013. 101
Figura 62 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2014. 102
Figura 63 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2015. 102
Figura 64 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2016. 103
Figura 65 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2017. 103
Figura 66 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2018. 104

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17

1.1 TEMA DE PESQUISA 20

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA 21

1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS 22

2 REFERENCIAL TEÓRICO 23

2.1 Energia 23

2.2 Tipos de energia 23

2.3 Relação entre a produção e consumo de energia e o índice de desenvolvimento humano (IDH) 26

2.4 Relação entre produção e consumo de energia e produto interno bruto (PIB) 29

5.5 Produção de energia no cenário mundial 30

2.6 Produção de energia no Brasil 33

2.7 Teoria dos grafos 36

2.7.1 Teoria dos grafos quantitativa 36

2.8 Análise de redes sociais 37

2.8.1 Indicador estrutural quantitativo de centralidade 38

2.8.2 Indicador estrutural quantitativo de densidade 39

2.9 Construção dos grafos com ferramentas de software 40

2.9.1 Software Ucinet 6 for Windows 40

2.10 Modelagem matemática por meio de funções polinomiais 41

2.11 Coeficiente de determinação (R^2) 41

3 Metodologia 43

3.1 Classificação da pesquisa 43

3.2 Tratamento dos dados 43

4 Resultados e discussões 45

4.1 Construção dos arquivos.vna para análise das redes no software Ucinet 53

4.2 Imagens dos arquivos de reposta obtidos para o processamento dos ".vnas" para centralidades e para densidades.....54

4.3 Grafos obtidos para cada um dos anos de 1970 a 2018 do estudo obtidos com a ferramenta de visualização NETDRAW do UCINET 58

4.4 Apresentação do gráfico das Centralidades.....58

4.5 Apresentação do gráfico das Densidades. 64

4.6 Retrospectiva da produção de energia primária no Brasil 67

5 CONCLUSÕES 70

REFERÊNCIAS 72

APÊNDICE.....80

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas é crescente o interesse por pesquisas relacionadas a geração de energia, em especial as renováveis, com o objetivo de aprimorar o uso de recursos disponíveis, levando em consideração fatores como segurança energética, poluição ambiental e desenvolvimento econômico. Nesse sentido, o aperfeiçoamento tecnológico possibilitou diversos progressos sobre o setor elétrico, contudo, segundo o Banco Mundial (BM), cerca de 840 milhões de pessoas ainda vivem sem acesso a eletricidade (BANCO MUNDIAL, 2018).

A definição da matriz energética de uma região é fortemente influenciada por questões econômicas, no entanto, em virtude de uma nova abordagem ao lidar com recursos energéticos, a sociedade começou a preocupa-se com fatores como sustentabilidade, assim, o relatório *renewables 2019 global status report,* afirmou que em 2017, sem melhorias de eficiência do uso de energia nas diversas estruturas econômicas, a demanda global final de energia teria sido 12% superior comparado ao ano 2000 (REN 21, 2019).

Entretanto, com relação ao cenário mundial, a demanda por energia primária aumentou 2,2% em 2018, crescimento mais acelerado desde 2013. No mesmo ano, a geração de energia elétrica cresceu 2,8%, sendo 94% desse crescimento vindo das economias emergentes. Além disso, a demanda global por energia está acima da média de 10 anos, conforme análise estatística da *British Petroleum* (BP), sobre a energia mundial 2018 (BP, 2018).

Nesse contexto, os indicadores mostram que a demanda por energia e o avanço econômico estão crescendo de maneira dissociada, visto que, o PIB mundial teve um aumento superior ao suprimento de energia primária em todos continentes, com exceção da Ásia Ocidental (BANCO MUNDIAL, 2018).

Com relação ao âmbito nacional, atualmente o Brasil está em um momento de retração econômica, desacelerando a demanda por energia primária, que cresceu 1,3% menos que a média de 2,5% dos últimos dez anos (SILVEIRA, 2019).

Contudo, é necessário que o país invista adequadamente em energias renováveis, considerando a previsão de expansão da demanda energética quando a economia retomar o crescimento. Assim, a FIRJAN - Federação das Indústrias do

Estado do Rio de Janeiro estima que a demanda por energia crescerá 2,2% por ano além da média mundial, e corresponderá a 3% da energia primária global em 2040 (FIRJAN, 2019).

Embora considerado um país privilegiado por sua variedade em fontes renováveis de energia, a eficiência energética e tecnologias essenciais, precisam de um impulso no Brasil para responder aos diferentes tipos de demanda (EPE, 2018). Além disso, formuladores de políticas públicas podem ter dificuldade em direcionar os investimentos de maneira eficaz para atender a demanda energética crescente, em um contexto que se busca produzir mais com menos energia (REN 21, 2019).

Portanto, considerando o contexto das projeções de crescimento da demanda de energia primária, a necessidade de investimento em energias renováveis para diversificar a matriz energética e motivados pela experiência nacional de investimentos no setor energético, justifica – se o interesse pelo estudo do histórico nacional da produção de energia primária, sendo esse o tema central da dissertação.

No contexto dos movimentos no setor energético, as decisões dos formuladores de políticas públicas são de importante influência na evolução da matriz energética, assim, a despeito das experiências históricas brasileiras, aplicou – se a teoria dos grafos para facilitar a compreensão, por meio de modelagem matemática, das relações entre Brasil e as diversas fontes de energia.

A teoria dos grafos é aplicada computacionalmente para facilitar a compreensão de uma rede social, que de maneira simples, é definida como um conjunto de indivíduos com conexões de dependência entre si (NASCIMENTO, 2013).

Assim, os próximos capítulos desse trabalho descrevem o tema da pesquisa, problema de pesquisa e os objetivos propostos, nos itens 2, 3 e 4 respectivamente. Em seguida o capítulo 5.1 e 5.2 descrevem uma breve introdução aos diferentes tipos de energia, enquanto os capítulos 5.3 e 5.4 descrevem a relação entre consumo de energia com desenvolvimento humano e PIB.

Nos capítulos 5.5 e 5.6 foram discutidos o panorama do cenário internacional e nacional da produção energética, já os capítulos 5.7, 5.8 e 5.9 tratam da teoria dos grafos e análise de redes sociais, bem como a construção dos grafos com o *Software Ucinet,* utilizado nesta pesquisa, os capítulos 5.10 e 5.11 tratam da modelagem matemática por meio de funções polinomiais e do coeficiente de

determinação R^2. Por fim a metodologia utilizada nesta pesquisa é descrita no item 6, em seguida o tópico 7 apresenta os resultados e discussões e o tópico 8 conclui a pesquisa.

1.1 TEMA DE PESQUISA

Esta pesquisa tem como tema principal elaborar um estudo sobre o cenário do comportamento da produção de energia primária no Brasil ao longo do período de 1970 a 2018, bem como as trocas ocorridas entre as principais fontes que colaboraram para a matriz energética nacional ao longo dos anos, por meio de uma linha temporal que identifique os momentos de destaque destas mudanças.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Observa-se em todo o mundo uma relação direta entre o desenvolvimento econômico e o desenvolvimento humano com as quantidades de energia primária geradas. No Brasil, houve, no período abordado nesta pesquisa, uma alternância de fontes primárias que levaram a uma evolução da matriz, tornando-a mais limpa.

Apesar da evolução em termos de geração de energia mais limpa, houve uma sequência de eventos gerados pelos gestores públicos e crises internacionais que levaram a uma desaceleração dos investimentos neste setor.

Buscou-se, portanto, nesta pesquisa, responder quais os modelos matemáticos que representam o comportamento relativo às mudanças ocorridas nos tipos de fontes principais de produção de energia primária ao longo do período de 1970 a 2018, assim como a busca da relação destas mudanças frente a movimentos socioeconômicos realizados pelos gestores públicos.

1.3 OBJETIVOS PROPOSTOS

A pesquisa tem como objetivo geral consolidar dados sobre o cenário do comportamento da produção de energia primária no Brasil por meio dos modelos matemáticos que representam a variação dos indicadores estruturais da rede constituída no período de 1970 a 2018.

Integram como objetivos específicos desta pesquisa:

I) levantamento dos totais de energia primária gerados no país dentro do período de 1970 a 2018;

II) construir as matrizes relacionais correspondentes e os indicadores estruturais de centralidade e densidade da oferta de energia primária no Brasil de 1970 a 2018;

III) construir os grafos para cada um dos anos de 1970 a 2018 do estudo obtidos com a ferramenta de visualização Netdraw do Ucinet;

IV) determinar os modelos matemáticos da variação das centralidades e das densidades obtidas para o período de 1970 a 2018;

V) discutir os movimentos realizados por formuladores de políticas públicas ao longo das décadas de 1970 a 2018 com base em dados e experiência do cenário nacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia

Segundo Demirel (2012), energia é a capacidade de se realizar trabalho. A energia se apresenta em várias formas, como movimento, calor, luz, elétrica, química, energia nuclear e gravitacional.

2.2 Tipos de energia

Os principais tipos de energia, segundo a definição encontrada no trabalho de Demirel (2012) são os tipos “Primária” e “Secundária”.

Segundo o autor, a energia do tipo primária é extraída ou capturada diretamente do ambiente, enquanto a energia secundária é convertida da energia primária na forma de eletricidade ou combustível.

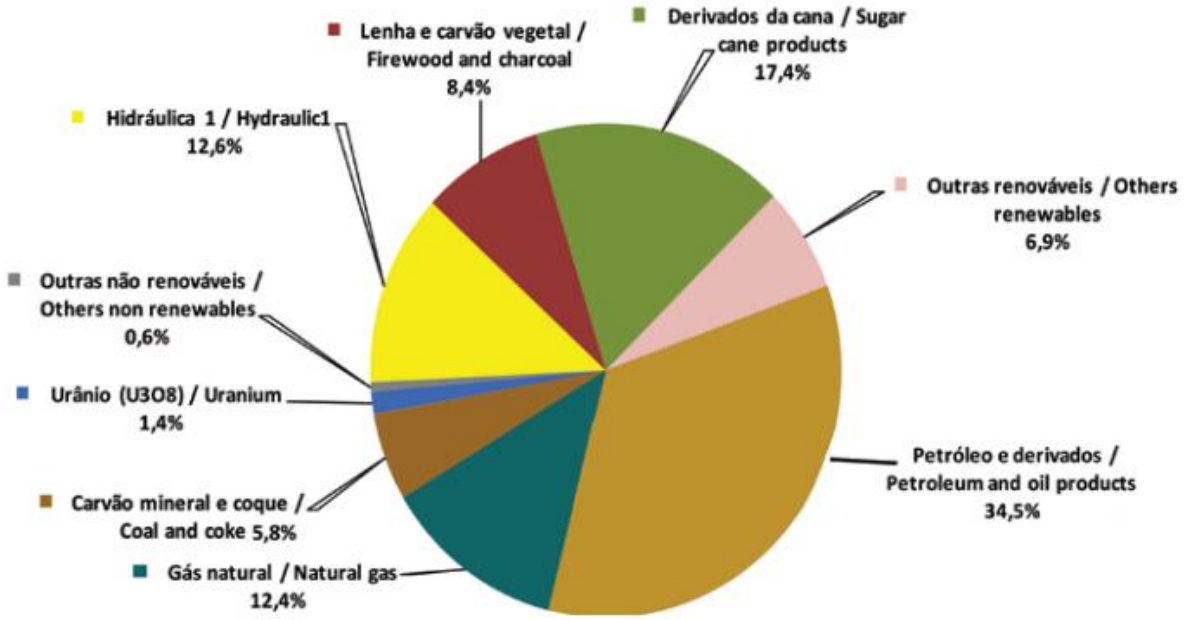
Distinguir as fontes primárias e secundárias de energia é premissa importante para que se construam os balanços de energia para contabilizar e registrar o fornecimento de energia, as transformações necessárias e as possíveis perdas relacionadas.

Como exemplos de fontes de energia primária, Demirel (2012) diz que temos dois grupos principais: (i) energia não renovável (combustíveis fósseis): carvão, petróleo bruto, gás natural, combustível nuclear. (ii) energia renovável: energia hidrelétrica, biomassa, energia solar, energia eólica, geotérmica e oceânica.

A demanda de energia primária na América Latina e Caribe cresceu a uma taxa de 3.2% no período entre 2000 a 2014. Espera-se que cresça a uma taxa de 1.6–1.9% até o ano de 2030 e de 0.8–1.1% entre os anos de 2030 a 2060 (CME, 2017)

Segundo o relatório do Balanço Energético Nacional – BEN, no cenário da matriz energética nacional, a oferta interna de energia primária, é predominantemente composta por petróleo, derivados de cana e hidráulica conforme apresenta a Figura 1 (BEN, 2019).

Figura 1 - Oferta Interna de Energia

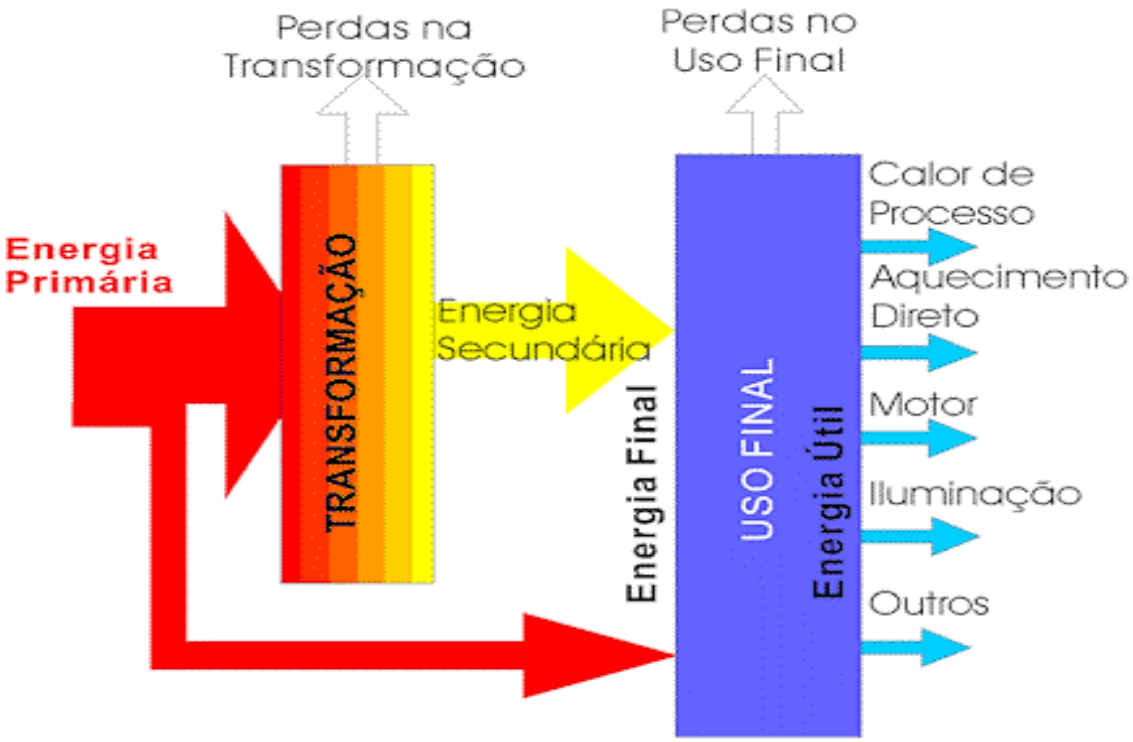


Fonte: BEN, (2019)

Já no tocante às fontes Secundárias, Demirel (2012) cita que a energia primária é transformada em energia secundária na forma de energia elétrica ou combustível, como gasolina, óleo combustível, metanol, etanol e hidrogênio. A energia primária de fontes de energia renováveis, como o sol, o vento, a biomassa, a energia geotérmica e a água fluida são geralmente equiparadas à energia elétrica ou térmica produzida a partir delas. A energia final é muitas vezes energia elétrica e combustível, que é referida como energia útil. Os quatro tipos selecionados de energia final são energia elétrica, térmica, mecânica e química. Estes tipos de energia final estabelecem um limite entre a produção de energia e os setores de consumo.

A conversão de energia primária em fontes de energia secundária, renováveis ou não, resultam em calor, em movimento, em força, etc. Normalmente, usinas, refinarias e destilarias são os responsáveis por esta transformação, por intermédio de processos tecnológicos, de modo que, seja consumida pelas residências e/ou indústrias na forma de energia final, conforme Figura 2 (ALVIM et al., 2000).

Figura 2 - Representação esquemática dos fluxos de energia primária, secundária e final.

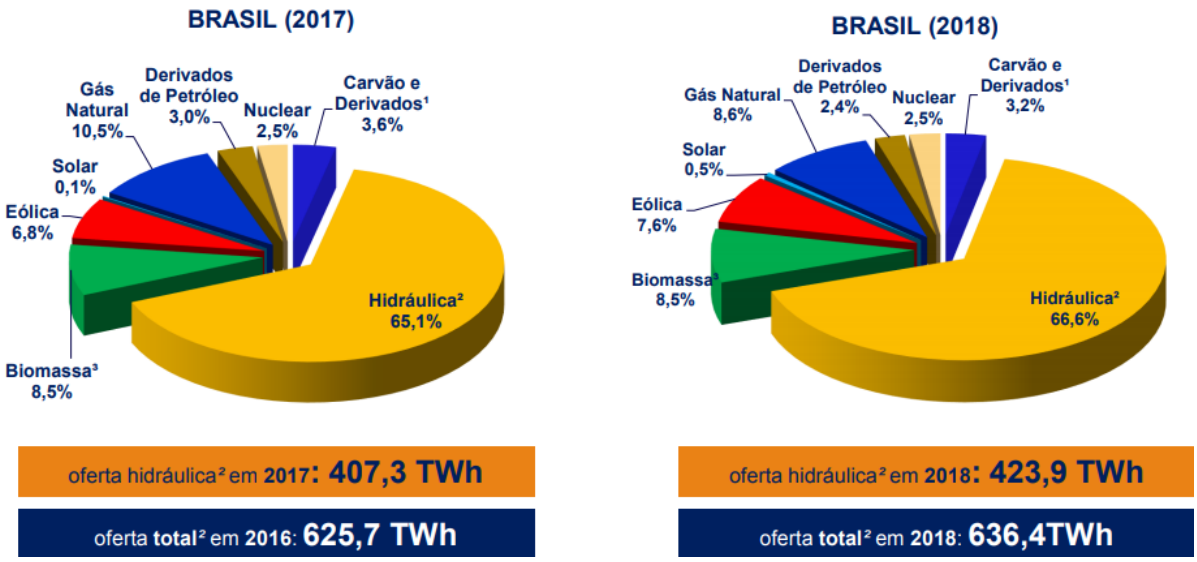


Fonte: (Alvim et al.,2000).

Para converter a energia, chamada final, na forma em que ela é usada, passa-se por um processo que implica em perdas, sendo necessário considerar uma eficiência de uso ou rendimento. No caso do uso motriz, parte da energia é transferida ao eixo do motor e parte é dissipada na forma de calor (ALVIM et al. 2000).

Com relação à matriz elétrica brasileira (Figura 3), a oferta interna nacional contabilizou 65,1% de hidroeletricidade no ano de 2017, valor 2,6% menor do que o ano anterior e as energias não renováveis representaram 20,8% (EPE, 2018).

Figura 3 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte



Fonte: BEN, (2019).

A energia disponibilizada em 2018 no Brasil foi 288,4 Mtep (milhões de tonelada equivalente de petróleo), correspondendo um decréscimo de 1,7% em relação a 2017, com relação a energia elétrica houve o crescimento de 10,7 TWh (terawatt-hora) e 4,1%de energia hidráulica disponibilizada (BEN, 2019).

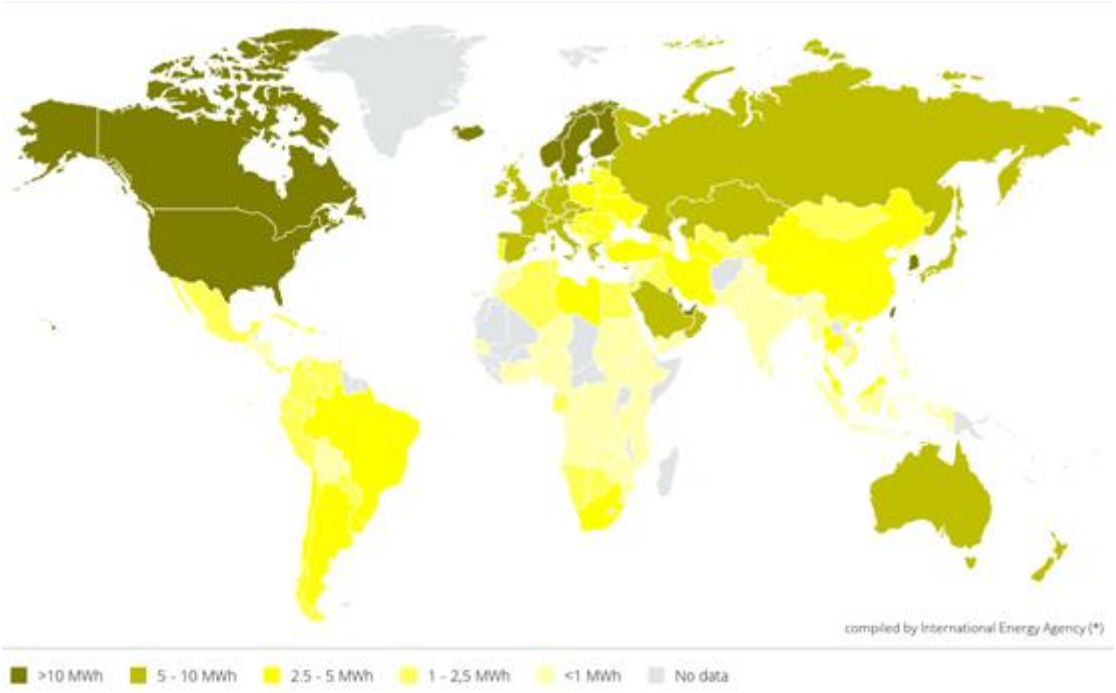
2.3 Relação entre a produção e consumo de energia e o índice de desenvolvimento humano (IDH)

É notório que as sociedades, mais ricas, mais populosas e mais complexas requerem maiores demandas de energia (Figura 5). Tais sociedades evoluíram ao acessar fluxos de energia progressivamente maiores e não poderão ser sustentadas na ausência desses fluxos (TAINTER, 2011). No estudo de Brown et al., (2011) foram estudados 220 países em um período de 24 anos, os autores concluíram que, em média, cada aumento de 1% na riqueza per capita do país associa-se a um aumento de 0,76% no consumo de energia per capita.

O consumo de energia é um dos principais fatores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores industrial, comercial e de serviços, quanto à capacidade da população para adquirir bens e serviços tecnologicamente mais avançados, como automóveis (que demandam combustíveis), eletrodomésticos e

eletroeletrônicos que exigem acesso à rede elétrica e pressionam o consumo de energia elétrica (EPE, 2017).

Figura 4 - Consumo de eletricidade per capita mundial 2016

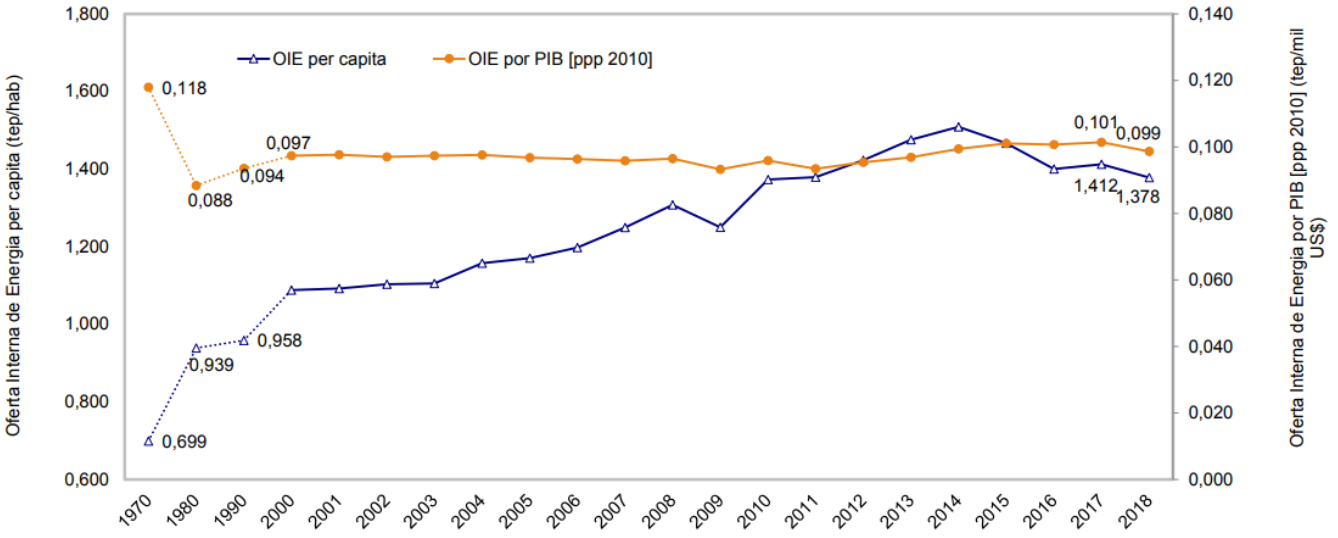


Fonte: (IEA, 2016).

O crescimento da população mundial e o aumento de energia per capita faz com que o consumo global de energia continue sua tendência positiva aumentando em cerca de 2,3% em 2012-2013. A taxa de crescimento populacional desacelerou nos países industrializados, porém o desenvolvimento econômico nesses países impulsiona uma necessidade cada vez maior de energia (SORRELL, 2015).

Entretanto, o Brasil sempre apresentou um consumo *per capita* de energia baixo (Figura 5). O crescimento da renda nacional e sua redistribuição deverão fazer com que esse consumo aumente.

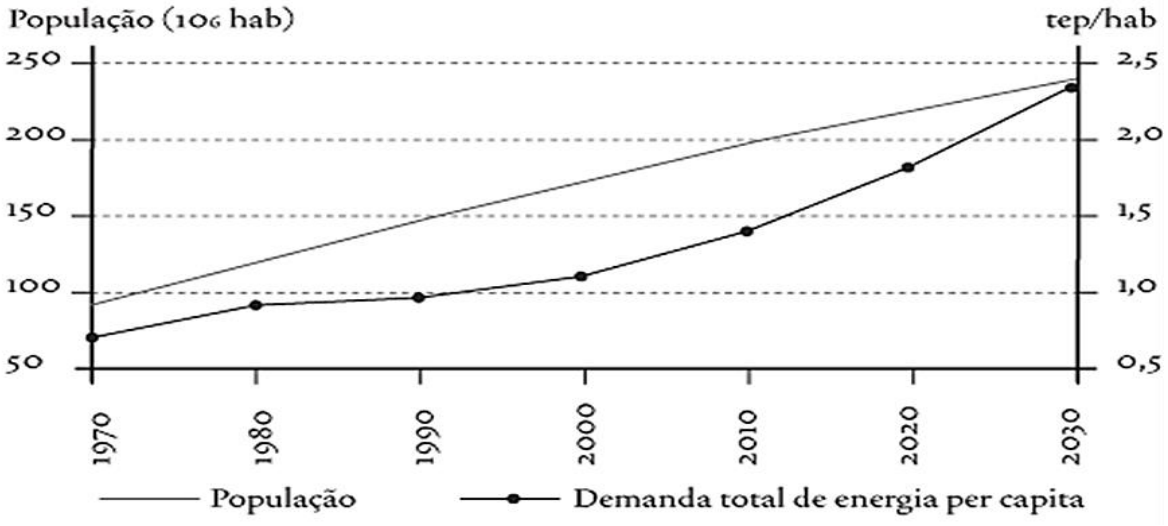
Figura 5 - Evolução dos indicadores: energia



Fonte: BEN, (2019)

Estimativas para 2030 demonstram um consumo de energia primária de cerca de 560 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo) para uma população superior a 238 milhões de habitantes (Figura 6). Nessas condições, a demanda *per capita* aumentaria de 1.190 para 2.345 tep/10^3 hab. entre 2005 e 2030 (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007)

Figura 6 - Estimativa per capita de Energia (Brasil).



Fonte: EPE (2015).

Historicamente, o Brasil apresenta uma importante vantagem comparativa no setor energético relacionado à abundância de recursos naturais, e está em uma posição favorável quando se trata do uso de fontes de energia renováveis. No entanto, o desenvolvimento socioeconômico do país resultará em maior uso de energia que, não é garantido que venha exclusivamente de fontes renováveis (NOGUEIRA et al., 2014).

2.4 Relação entre produção e consumo de energia e produto interno bruto (PIB)

Conforme Camioto; Rebelatto; Rocha, (2015, p. 200) o PIB é um índice econômico e “Tem o objetivo principal de mensurar a atividade econômica de uma região. Na contagem do PIB, consideram-se apenas bens e serviços finais, excluindo da conta todos os bens de consumo intermediários. ”

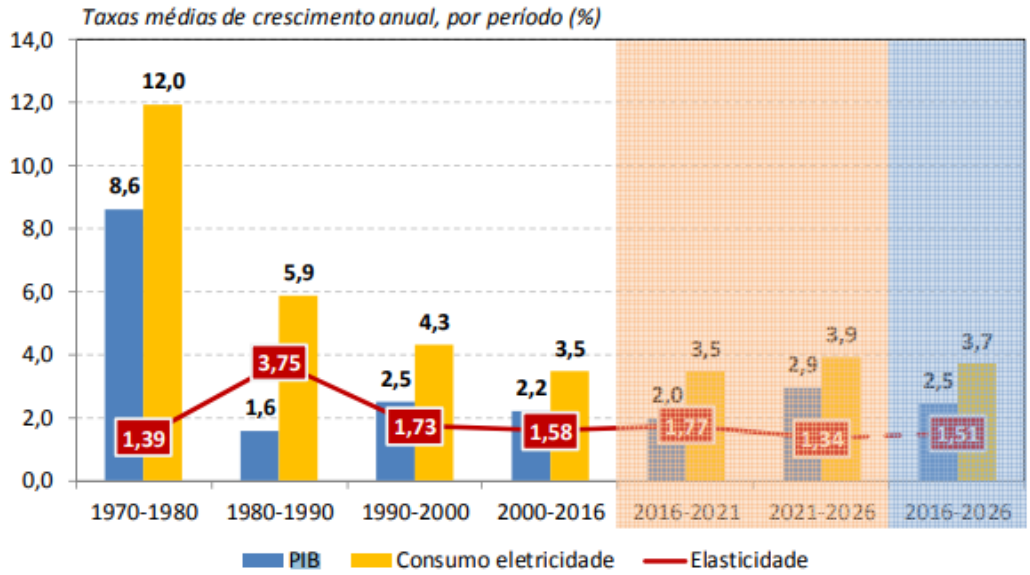
Estudos relacionando o consumo de energia e Produto Interno Bruto são vastos na literatura, contudo, em sua maioria analisam países isoladamente, dificultando sua interpretação e generalização, uma vez que cada país difere em sua economia e tecnologia. Além disso, há argumentos partindo do pressuposto que o crescimento econômico aumenta a demanda de energia ou o aumento do consumo de energia estimula o crescimento econômico (MAHALINGAM; ORMAN, 2018).

Embora não haja um consenso entre os pesquisadores sobre a relação economia e PIB, a eletricidade e consumo de energia são ferramentas essenciais para as nações aprimorarem tecnologias, aumentar o padrão de vida da população e estimular o desenvolvimento científico, portanto muitos pesquisadores consideram o consumo de eletricidade como um importante indicador econômico (OUEDRAOGO, 2013).

Nesse contexto, os estudos de Belke; Dobnik; Dreger, (2011) analisaram o histórico do consumo de energia e PIB de 25 países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, e os resultados indicam que há relação direta entre crescimento econômico e consumo de energia para a realidade dos Países estudados.

De acordo com a nota técnica DEA 001/17: Projeção da demanda de energia elétrica publicada pela Epe (2017), a evolução do consumo de energia e sua relação com o PIB é ilustrado na Figura 7, com a projeção para o ano de 2026.

Figura 7- Evolução da elasticidade-renda do consumo de eletricidade



Fonte: EPE, (2017).

A Figura 7 apresenta a relação que existe entre o crescimento do PIB e o consumo de eletricidade. Esta análise de cointegração encaminha ao entendimento do progressivo aproveitamento do potencial de eficiência energética no uso e na produção de energia, resultando em redução gradual da elasticidade-renda da demanda por esses produtos.

Entende – se por elasticidade-renda do consumo de eletricidade, do ponto de vista de Castro; Rosental, (2019, p.01), "[...] quanto de energia elétrica é necessária para suportar cada 1% a mais de PIB. Isto porque a oferta de energia elétrica é uma variável dependente [...]", ou seja, a demanda por energia elétrica depende do crescimento do PIB.

5.5 Produção de energia no cenário mundial

Conforme a *International Energy Agency* (IEA), mundialmente, o consumo de energia aumentará aproximadamente um quarto até 2040, para atender uma população que cresce com previsão para chegar a 1,7 bilhões de pessoas. Esse

crescimento é notório em economias em desenvolvimento como a Índia, país que lidera o *ranking* dos países com demanda energética crescente (IEA, 2018).

Nesse contexto, a China, de acordo com o relatório *World Energy Investment* Iea, (2018), é o país que mais investe em produção de energia, sendo cerca de mais de um quinto do total mundialmente. Contudo, houve a diminuição de 55% de investimentos em usinas de carvão, uma vez que, atualmente, amplia – se a busca por energia de baixo carbono.

Em consonância a este tipo de busca, a Organização das Nações Unidas ONU, (2015), publicou em 2015 a agenda 2030, com objetivos específicos para o cenário energético mundial, e determina em seu item 7.2 “Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global”.

O objetivo da ONU é relacionado com o Acordo de Paris, cujo objetivo principal é a redução das emissões de gases do efeito estufa, todavia, de acordo com o documento *World Energy Outlook* (WEO), as emissões de CO^2 estão estagnadas desde 2014, fato esse atribuído ao aumento dos investimentos em geração de energia eólica e solar, além da redução do uso de energia de usinas de carvão na China (IEA, 2017).

Mundialmente, a eletricidade é predominantemente gerada por 65,6%, de combustíveis fósseis, em seguida 16,6% de hidroeletricidade e 10,6% de energia nuclear. Levando em consideração as questões ambientais, é crescente a busca por fontes renováveis de energia conforme dados do Anuário de Energia Elétrica (EPE, 2018).

A China é o país que lidera em capacidade instalada de fontes alternativas de energia, que incluem a solar e eólica, entretanto, segundo Liu et al., (2018), no período de 1991 à 2012 o carvão representou 66% do total de demanda energética e conforme o relatório *Key Word Statistics* a demanda energética da China é principalmente gerada a partir do carvão como mostra a Tabela 1(IEA, 2018).

Tabela 1 – Produtores, exportações líquidas e importadores líquidos de carvão.

Produtores	***Mt***	***% do total mundial***
China	3 376	44.7
Índia	730	9.7
Estados Unidos	702	9.3
Austrália	501	6.6
Indonésia	488	6.5
Russa	387	5.1
África do Sul	257	3.4
Alemanha	175	2.3
Polônia	127	1.7
Casaquistão	106	1.4
Outros países	***700***	***9.3***
Total Mundial	***7.549***	***100***

Fonte: IEA (2018).

De acordo com Sharvini et al., (2018), nos últimos anos, políticas para o incentivo ao uso de energias renováveis foram implantadas na China, como o "13º Plano Quinquenal" com o objetivo de redução do consumo e poluição primária de energia. Segundo o Institudo de Pesquisa Primária em energia *Bloomberg New Energy Financeem* 2017 a China foi líder em investimentos em energia limpa totalizando $100.1 bilhões de dólares e manteve a liderança em 2018, porém, com 32% a menos de investimentos (BLOOMBERG NEF, 2019).

Segundo a *Energy Information Administration*, as economias dos países China, Índia e do continente africano, consomem aproximadamente um terço da energia mundial, em 2015 essas regiões consumiram 32% da energia global, além disso, é projetado que o consumo energético continue crescendo acima do resto do mundo até 2040, contabilizando 36% do consumo global de energia, portanto, a economia dessas regiões tem impacto significante no mercado mundial de energia

(EIA, 2018). Embora as estatísticas apontam que a Índia será o país mais populoso com economia crescente, nas próximas duas décadas o consumo de energia não atingirá a China e os Estados Unidos. No caso da África, o continente tem destaque por seu crescimento do setor manufatureiro levando ao maior consumo de energia (EIA, 2018).

2.6 Produção de energia no Brasil

Segundo os estudos de risco hidrológico e diversificação da matriz energética brasileira de Paim, (2019), nacionalmente há pouca interação ao que concerne leis e políticas relacionadas a energia e meio ambiente. Analisar as relações e influência das fontes de energia no Brasil é essencial para a colaboração e desenvolvimento de planejamento estratégico em prol do melhor aproveitamento energético nacional, portanto, segue uma breve explanação do cenário nacional de matriz energética.

No Brasil, segundo o BIG – Banco de Informações de Geração (BIG) há 163.790.982 kW de potência instalada, sendo 60,19% de origem hídrica e 24,69% de origem termelétrica. As previsões indicam que serão complementadas em 19.576.784 kW a capacidade de geração elétrica brasileira uma vez que embora o país esteja em um momento de incerteza econômica é notável a crescente demanda por eletricidade (ANEEL, 2019).

O Relatório Cenários de Demanda para o PNE 2050 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética estima que o consumo final de energia cresça entre 1,2% e 1,7% ao ano entre os anos 2015 e 2050, sendo assim, embora a hidroeletricidade seja a fonte principal brasileira, existem outras fontes geradoras de eletricidade em destaque que podem ser exploradas (EPE; MME, 2018).

Ainda de acordo com a EPE, o consumo de eletricidade em janeiro de 2019 cresceu 3,8% se comparado a janeiro de 2018, devido às temperaturas elevadas que superaram 28 graus em diversos locais do Brasil, esse aumento refletiu no aumento em 8% nas residências e 5,9% na classe comercial (EPE, 2019).

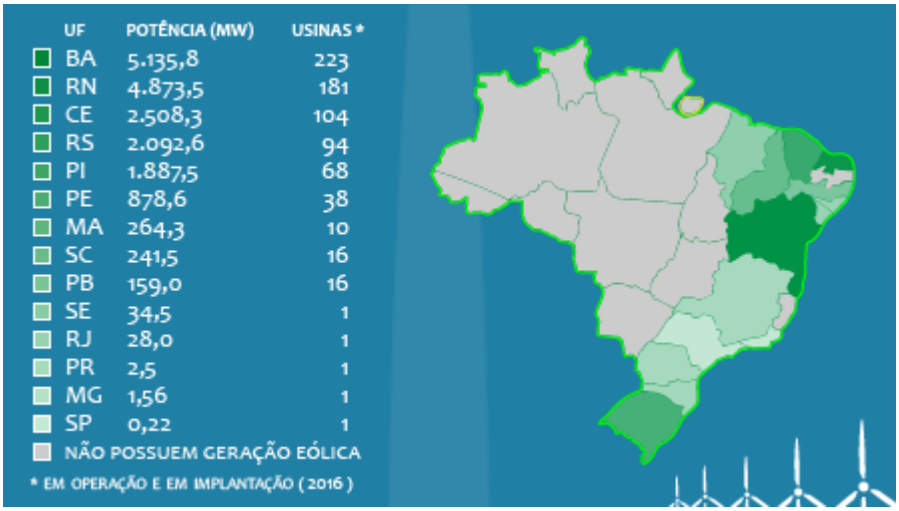
Considerando as questões sociais e ambientais, há uma crescente necessidade em se diversificar a matriz energética mundial. Nesse quesito, o Brasil tem potencial para explorar energias renováveis. Conforme o Banco de Informação

de Geração, no contexto atual, há 58 empreendimentos com construção iniciada para exploração de energia eólica e 18 para exploração de energia fotovoltaica (ANEEL, 2019).

Em relação ao potencial fotovoltaico brasileiro o LABREN (Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia), CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre) e INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), afirmaram que no Brasil o lugar menos ensolarado é possível produzir mais energia fotovoltaica do que a região mais ensolarada da Alemanha (INPE; CCST; LABREN, 2017).

De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, nacionalmente, o país também possui potencial para geração de energia eólica, principalmente na região litorânea do Norte e Nordeste (Figura 08), sendo que, o volume de vento é duas vezes superior à média mundial, além disso, a oscilação dos ventos é em torno de 5%, facilitando a estimativa de geração (ANEEL, 2008).

Figura 8 – Participação da energia eólica nos estados.



Fonte: ANEEL, 2016

Conforme o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, o Brasil possui potencial para energia eólica, estimado em 143,5 GW ou 272,2 Twh/ano (CRESESB, 2019). Além disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica, afirma que o fornecimento de eletricidade por pequenas centrais elétricas eólicas é importante para suprir localidades distantes da rede e as centrais tem potencial para fornecer significativamente o SIN – Sistema Interligado Nacional, que é o sistema de

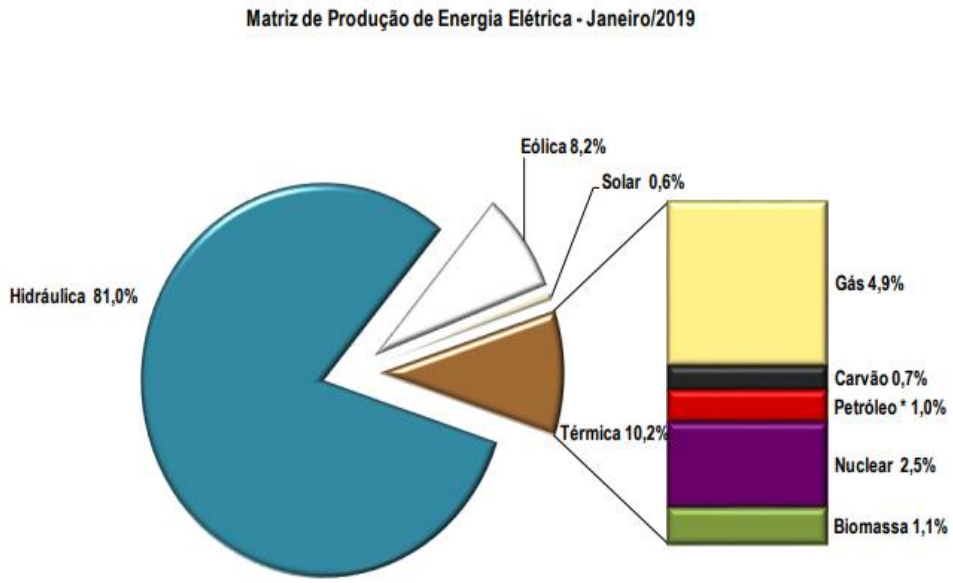
produção e transmissão de energia elétrica do Brasil (um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários) constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte (ANEEL, 2019).

Embora nacionalmente a maior parte da população tenha acesso a eletricidade, a dificuldade é que cada vez mais as fontes hidrelétricas estão longe dos maiores centros de consumo, resultando em maiores investimentos em linhas de transmissão, adicionalmente há grandes investimentos nos primeiros anos de instalação de usinas hidrelétricas (EPE, 2018).

Em relação às outras fontes que compõem a matriz energética brasileira, as usinas termelétricas correspondem a 1,35% dos empreendimentos em operação no Brasil com potência associada de 2.253.498KW, em comparação com o cenário nacional, as termelétricas são pouco expressivas (ANEEL, 2019).

Com relação às fontes de energia primária para produção de eletricidade, no Brasil, conforme o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro MME, (2019) em janeiro de 2019 as fontes renováveis (hidráulica, biomassa, solar e eólica) representaram 90,9 % conforme apresenta a Figura 10.

Figura 9 - Matriz de Produção de Energia Elétrica Brasil– Janeiro/2019.



Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2019.

A Empresa de Pesquisa Energética divulgou o acréscimo de 5,728 MW em 2018 da capacidade instalada de geração de energia elétrica, sendo 3.864 MW de geração hídrica e evolução de 1.798 MW de potência solar instalada em 2018 (BEN, 2019).

2.7 Teoria dos grafos

Os grafos são representações matemáticas essenciais para resolver inúmeras adversidades da sociedade e indústria auxiliando para melhorar o planejamento estratégico em negócios. Nesse sentido a teoria dos grafos baseada em sistemas de rede, contribui por meio de algoritmos para encontrar o menor caminho de um gráfico diminuindo assim a complexidade de problemas. (SADAVARE; KULKARNI, 2012)**.**

Conforme Albert, Baraba (2002), matematicamente uma rede em Teoria dos Grafos é caracterizada por um gráfico, sendo *P* um par de conjuntos de *N* vértices, nós ou pontos e, um conjunto de linhas ou arestas que unem dois membros de *P*, representando uma relação imaginária.

A teoria dos grafos teve origem com o pesquisador Leonhard Euler no ano 1735 com o famoso *Problema das Pontes de Königsberg*, culminando gráficos de alto grau de regularidade, e nos anos 1990 surgiram ramificações da teoria dos grafos como a *Random Graph Theory* (grafo aleatório) *e Algebraic Graph Theory* (A teoria dos grafos algébricos) (DEHMER; EMMERT-STREIB; SHI, 2017).

Existem ainda as ramificações da teoria dos grafos denominadas*, Spectral Graph Theory (*Teoria espectral de grafos)*, Topological Graph Theory* (teoria dos grafos topológicos) *e Quantitative Graph Theory*. A teoria dos grafos quantitativa é definida como um método de medição para quantificar redes (DEHMER; EMMERT-STREIB; SHI, 2017).

2.7.1 Teoria dos grafos quantitativa

Nos estudos realizados por Dehmer; Emmert-streib; Shi (2017), os autores destacam que a Teoria dos Grafos Quantitativos foi definida como uma abordagem de medição para quantificar as informações estruturais das redes. Em

geral, medidas gráficas locais, globais ou comparativas podem ser empregadas para medir informações estruturais.

Enfatiza - se que esta definição complementa a teoria dos grafos (clássica), que lida principalmente com a descrição das propriedades estruturais dos gráficos.

2.8 Análise de redes sociais

O domínio do conhecimento em um mundo cada vez mais tecnológico, complexo e competitivo não é limitado a indivíduos ou organizações, portanto, para se manter em desenvolvimento é vital a conexão em redes sistêmicas onde os atores influenciam e são influenciados no contexto considerado. Essas redes podem ser formais ou informais e pesquisadas sob várias perspectivas, sendo uma delas a análise de redes sociais, *SNA – Social Network Analysis* (MOLLO NETO, 2015).

A análise de redes sociais contribui para a compreensão do desempenho interno e externo de um empreendimento, ajudando os atores da rede a obter vantagens, conhecimento e informações de qualidade, logo, contribuem para o sucesso da empresa (MOLLO NETO, 2015).

Em um ambiente social, compreender as relações, o fluxo de compartilhamento de ideias entre os agentes e como a posição de cada um influencia ao que diz respeito a acesso a conhecimento e recursos, como bens e capital, auxiliam o planejamento estratégico e impulsiona a colaboração entre atores, gerando resultados vantajosos para a rede (MOLLO NETO et al., 2010).

Na perspectiva de Stokman (2001), a estrutura global de uma rede social, é a causa e o resultado das ações individuais de cada elemento da rede, que cultivam um padrão de comportamento, expandindo ou limitando oportunidades de acesso a recursos para que seus indivíduos realizem seus objetivos. É importante observar que, muitas vezes essas ações individuais são inconscientes.

Para Peng *et al*. (2018), a análise de redes sociais é a representação do fluxo e relacionamentos entre informações conectadas, entidades de pesquisa e conhecimento, grupos e organizações. Os pesquisadores Milovanović et al., (2019) basearam os seus estudos em SNA para identificar interações e preferências de um grupo de pessoas.

Essa análise pode ser usada em diversos contextos, como a elaboração de metas de um empreendimento e identificar um nicho para introdução de novos produtos.

Relações socialmente relevantes são formadas por pessoas, entidades, empresas e computadores que podem ser *co – workers* ou amigos. Liao; Chen (2018) basearam seus estudos em SNA para entender a dinâmica da troca de informações e aperfeiçoar as interações da rede sobre *Big Data*. Os resultados ajudaram a estruturar estratégias de marketing levando a resultados significativos para empreendedores.

A medição e análise das propriedades interdependentes das redes sociais podem ser realizadas em âmbito interpessoal onde os indivíduos buscam conselhos, amizade e confiança entre as interações ou interorganizacionais como o intercâmbio de informações entre organizações.

Conforme pesquisa de Steketee; Miyaoka; Spiegelman (2015), por meio da influência de indivíduos e grupos interagindo entre si, cultura, padrões sociais e instituições formam – se na sociedade.

2.8.1 Indicador estrutural quantitativo de centralidade

Conforme Rossoni; Silva; Ferreira Júnior (2008), os atores em uma rede social são os objetos de estudo que podem ser representados por países, instituições e organizações. O objeto de estudo é central quando possui muitos laços em uma rede social, ou seja, muitas ligações entre atores.

Nesse contexto, Izquierdo; Hanneman (2006), complementaram que a centralidade em uma rede, indica o poder de influência para difusão de informações entre seus atores. A determinação da centralidade indica a posição relativa de um ator na rede, preocupando-se com a distância que conecta, por meio do menor número de nós, um ator a outro na rede estudada.

De acordo com Mollo Neto (2015), existem três vertentes para a mensuração da centralidade, sendo a centralidade de grau de entrada *(indegree),* centralidade de grau de saída *(outdegree)* e a centralidade medida em um nó. A definição de Tomaél; Marteleto (2006) para centralidade de grau, é a mensuração de contatos diretos que um ator possui na rede.

Na concepção de Hanneman; Riddle (2005), se um ator recebe muitas ligações direcionadas a ele, significa que é um ator de prestígio na rede, pois muitos outros componentes da rede buscam o compartilhamento de informação, por outro lado, atores que buscam outros e tem alto índice de saída de informação geralmente são atores influentes na rede.

A determinação das centralidades de acordo com os autores Emirbayer; Goodwin (1994), realizado na aplicação do *software,* que calcula o grau de centralidade, conforme a Equação 1:

$$\mathrm{C}g(V_{k)=\sum_{j=1}^{n} W_{KJ}} \qquad \textit{Eq. 1}$$

Onde:

C_g = Grau de Centralidade;

$V_{k=}$ Nó da rede a ser considerado;

$j =$ Número de nós;

$W_{KJ=}$ Número de nós adjacentes;

e $W_{KJ=}$ 1 se existe *link* entre nós *vk* e *vj*.

2.8.2 Indicador estrutural quantitativo de densidade

Densidade é um indicativo estrutural voltado para o grau de conexão entre os atores, sua quantificação é determinada pela razão da quantidade de laços entre atores da rede, sobre o total de laços possíveis da rede estudada (MASQUIETTO; SACOMANO NETO; GIULIANI, 2011).

Matematicamente a definição de densidade por Levine; Kurzban (2006) é representada pela Equação 2:

$$\Delta = 2Rl/(l-1) \qquad \textit{Eq. 2}$$

Sendo:

R = o número de relações existentes na rede;

I = o número de atores que compõe a rede.

2.9 Construção dos grafos com ferramentas de *software*

As pesquisas relacionadas à rede social incluem uma variedade de dados como instituições, indivíduos, países e organizações, que interagem entre si por razões diferentes. Para que o tratamento de dados estruturais de uma rede sejam representados adequadamente é necessária a utilização de *softwares* (CARLEY et al., 2007).

Segundo Makagon; Mccowan; Mench (2012) existem diversas ferramentas de *software* elaboradas para o processamento de informações estruturais de redes sociais, permitindo sua análise com dados objetivos, a visualização estrutural dos grafos e facilitando o cálculo de suas métricas estatísticas.

A escolha do *software* deve ser feita com base no conhecimento de suas principais características e recursos, além das necessidades da rede estudada, Mollo Neto, (2015) destacou o programa *Ucinet* e o módulo *NetDraw* como uma das ferramentas mais comuns para análise de redes sociais.

2.9.1 *Software* Ucinet 6 for Windows

Desenvolvido por Borgatti; Everett, e Freeman na Universidade da Califórnia em Irvine e comercializado pela empresa *Analytic Technologies* Borgatti; Everett, M.; Freeman L. (2002), o *software* trabalha matricialmente os dados da rede em conjunto com o *software Net Draw,* utilizado para elaborar gráficos e diagramas facilitando a análise visual da rede social estudada.

Segundo Scott (1996), o *software Ucinet* é dos mais indicados para pesquisadores que estão iniciando trabalhos com redes sociais. Uma das vantagens destacada por Nascimento (2013), é que o *software Ucinet* permite o tratamento de dados de grafos com grande quantidade de nós, aproximadamente 10.000. Ademais, o *Ucinet 6* pode ser baixado gratuitamente por um período de 60 dias de teste permite a elaboração de grafos de qualquer tipo de rede social, podendo ser licenciado no futuro.

2.10 Modelagem matemática por meio de funções polinomiais

Na visão de Bassanezi (2002) a modelagem matemática por meio de representações numéricas como, equações ou inequações algébricas, busca refletir a realidade e auxilia a tomada de decisões tentando entender parâmetros fundamentais de algum objeto de estudo e transforma-los em um sistema artificial.

"A Modelagem Matemática não é uma ideia nova. Sua essência sempre esteve presente na criação das teorias científicas e em especial, na criação das teorias matemáticas" (BIEMBENGUT; HEIN, 2003 p.15).

Conforme Costa (2016 p. 61),"Modelagem pode ser compreendida como um fenômeno de perceber a Matemática em situações reais das mais variadas áreas da Ciência e da atividade humana."

De acordo com Daniel (2016 p.56), "Dada a sequência de números reais ($a0, a1, a2, ..., an$) consideremos a função P: R → R, dada pela Equação 3:

$$P(x) = a_n x^n + a_{n-1}x^{n-1} + ... + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \qquad \textit{Eq. 3}$$

> A função P é denominada função polinomial ou polinômio associado à sequência dada. Se $an \neq 0$ dizemos que P tem grau n e indicamos por $gr(P) = n$. Os números $a0$, $a1$, $a2$, ..., an são denominados coeficientes, o número an é chamado coeficiente dominante, e as parcelas $a0$, $a1x$, $a2x2$, ..., $anxn$ são chamadas termos do polinômio P.(DANIEL, 2016).

A função polinomial pode ser obtida à partir de um gráfico construído com a ferramenta Excel e utilizando-se a funcionalidade de obtenção da equação de regressão e o respectivo grau de erro atribuído à equação, conhecido por coeficiente de determinação (R^2) (BASQUIROTO DE SOUZA, 2018).

2.11 Coeficiente de determinação (R^2)

Segundo Mollo Neto et al. (2014) o coeficiente de determinação R^2 (Equação 4), é uma medida descritiva utilizada para verificar o grau de explicação da variação de *Y*, e quanto mais próximo de 1, indica o melhor ajustamento da Equação 4 elaborada com base em (CONWAY, 1962).

$$[R^2] = \frac{\sum_k^n=1[y(k)-z(k)]^2}{\sum_k^n=1[y(k)-z]^2} \qquad \textit{Eq. 4}$$

“Onde: *y(k)*é a saída real, *z(k)* é a saída estimada, é a média das *N* amostras da experimentação. Quando o valor de R^2 é igual a 1 (um) indica uma exata adequação do modelo para os dados medidos do processo” (MOLLO NETO et al., 2014, p.310).

3 Metodologia

Para alcançar os objetivos deste trabalho foi realizada uma pesquisa de estilo quantitativo e de cunho descritivo documental. A classificação da pesquisa foi baseada em (CRESWELL, 2007). Este capítulo caracterizará a classificação, procedimentos metodológicos e etapas da pesquisa.

3.1 Classificação da pesquisa

A pesquisa foi realizada com os dados de produção de oferta de energia primária no Brasil, incluindo energias renováveis e não renováveis de 1970 a 2018, dados disponibilizados e atualizados anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Por meio do serviço de informação ao cidadão foi possível acessar as informações pertinentes a esta pesquisa.

Após a coleta e organização dos dados ano a ano foi aplicada a ferramenta metodológica Análise de Redes Sociais e Teoria dos Grafos para o entendimento da evolução dos investimentos no setor energético realizado no Brasil.

Quanto aos fins:

A pesquisa classifica – se como um estudo descritivo, uma vez que descreve a distribuição dos tipos de fonte interna de energia primária no Brasil, assim como as percepções da evolução histórica e identifica ideias ou padrões relacionados aos investimentos realizados no setor energético.

Quanto aos meios:

A pesquisa é documental, pois utiliza documentos oficiais da EPE, contendo dados numéricos desde 1970.

3.2 Tratamento dos dados

A partir dos dados coletados e tabulados em planilhas Excel da Microsoft, a pesquisa aconteceu em duas fases distintas: Na primeira fase os dados foram utilizados para a construção de arquivos de banco de dados *visual network analysis* (*vna*) que possibilitam o tratamento dos dados com uso do *software* ferramenta

Ucinet, segundo método descrito na documentação gerada por (BORGATTI et al., 1999).

O *software Ucinet* 6 for Windows, que é, normalmente, utilizado para análise de redes sociais egocêntradas ou sociocêntricas em diversos contextos e calcula diversas medidas de redes gerando grafos para visualização das interações da rede com a ferramenta integrada *Net Draw* versão 2.160, que integra o *software* (BORGATTI; EVERETT; FREEMAN, 2002).

O processamento deste banco de dados permitiu a obtenção dos indicadores estruturais centralidade e densidade.

Por meio da centralidade foi identificado o ator fonte de energia primária que exerceu maior influência em cada ano e sua mudança ao longo do período histórico estudado. Já as densidades da rede permitiram visualizar o desenvolvimento das fontes e a sua contribuição para o Brasil no período estudado. Os indicadores foram selecionados e tabulados, ano a ano a partir de 1970 até o ano de 2018.

A partir destes indicadores foram elaborados os gráficos das densidades e dos graus de centralidade de entrada (*indegree*) nos mesmos termos propostos por (MOLLO NETO, 2014).

Destes gráficos das densidades e dos graus de centralidade de entrada, foram obtidas, segundo as recomendações do mesmo autor, as linhas de tendências correspondentes aos indicadores utilizando o Excel, e destas, foram construídas as equações dos modelos matemáticos que as representam a forma de polinômios ou funções polinomiais, assim como os correspondentes coeficientes de determinação.

Após a construção dos modelos matemáticos e os coeficientes de determinação, buscou-se visualmente identificar nos gráficos, principalmente no que representa as centralidades, os pontos de maior destaque, que foram base para as discussões buscando correlacionar os períodos de crescimento e de queda das centralidades com eventos sociais, políticos e principalmente econômicos do período compreendido pelo estudo.

No caso do gráfico das densidades, buscou-se verificar o crescimento da função obtida com o crescimento da demanda por energia primária no país.

4 Resultados e discussões

Inicialmente, da coleta de dados obtidos da prospecção de relatórios de Empresa de Pesquisa Energética, (2018) foram construídas as Tabelas 2 a 6 representando a oferta de energia no período de 1970 a 2018.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, cobrindo energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados e biocombustíveis, disponibiliza todos os dados desde 1970 e para a apresentação as tabelas da coleta foram organizadas em períodos de dez anos cada, assim fica garantida uma melhor visualização. Desta forma, a Tabela 2 compreende o período de coleta de dados de 1970 a 1979, já a Tabela 3 compreende o período de coleta de dados de 1980 a 1989, a Tabela 4 compreende o período de coleta de dados de 1990 a 1999, a Tabela 5 compreende o período de coleta de dados de 2000 a 2009 e a Tabela 6 compreende o período de coleta de dados de 2010 a 2018.

As tabelas apresentam inicialmente as fontes não renováveis e na sequência as fontes renováveis, nas quais é possível observar a redução no uso de energias mais agressivas ao meio ambiente e o aumento da utilização das energias renováveis e mais limpas.

Na Tabela 2, destaca-se como a fonte principal por todo o período, a Lenha, fonte renovável, mas não sustentável.

Observa-se também que, neste período, há uma proporção de aproximadamente 20,8% de produção de fontes não renováveis e 79,2% de fontes renováveis.

Neste período não existiu a produção de energia nuclear, pois fonte urânio, apesar de ter as instalações disponíveis, não apresentou produção no período todo. O mesmo foi observado para as fontes de energia eólica ou solar, porém, estas nem mesmo infraestruturas instaladas estavam disponíveis.

Já a fonte petróleo, representou neste período o montante de aproximadamente 13,6% e a geração de energia hidráulica foi pouco maior, por volta de 16,1% do total.

A oferta total de energia no Brasil neste período apresentou um crescimento de 25,14%.

Tabela 2 *- Produção de energia primária no Brasil 1970-1979* **10^3 tep (toe)**

FONTES	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Não renovável	**10.590**	**10.934**	**10.802**	**10.809**	**12.063**	**11.694**	**11.759**	**11.890**	**12.223**	**12.714**
Petróleo	8.161	8.521	8.313	8.453	8.969	8.727	8.473	8.177	8.154	8.419
Gás natural	1.255	1.169	1.232	1.171	1.477	1.613	1.630	1.795	1.919	1.885
Carvão vapor	611	654	657	600	830	743	951	1.095	1.250	1.404
Carvão metalúrgico	504	533	537	529	730	558	643	769	845	923
Urânio (u_3o_8)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outras não renováveis	60	57	63	55	57	53	62	53	55	83
Renovável	**39.037**	**39.538**	**41.037**	**41.774**	**43.155**	**43.857**	**44.107**	**45.814**	**46.454**	**49.389**
Energia hidráulica	3.422	3.714	4.357	4.977	5.646	6.214	7.128	8.036	8.833	10.022
Lenha	31.852	31.807	32.143	31.897	32.599	33.154	31.882	30.822	29.794	30.375
Produtos da cana	3.601	3.842	4.298	4.644	4.619	4.180	4.748	6.539	7.322	8.254
Eólica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras renováveis	163	176	238	256	292	310	350	417	506	739
Total	**49.627**	**50.472**	**51.839**	**52.583**	**55.219**	**55.552**	**55.866**	**57.704**	**58.678**	**62.103**

Fonte: EPE (2018)

Na Tabela 3, destaca-se ainda como a fonte principal por todo o período, a Lenha, fonte renovável, mas não sustentável. Observa-se também que, neste período, a proporção variou de aproximadamente 21,17% em 1980 até 36,21% em 1989 de produção de fontes não renováveis e de 78,83% em 1980 e 63,79% em 1989 de fontes renováveis.

Já a fonte petróleo, representou neste período o montante de aproximadamente 27,6% e a geração de energia hidráulica foi pouco maior, por volta de 15,85% do total.

A oferta total de energia no Brasil neste período apresentou um crescimento de 67,1%. Neste período não existiu a produção e nem de energia eólica ou solar. Já a produção de energia nuclear (Urânio) despontou com a produção de 3,78% do total no ano de 1982, mas decaiu para a participação de apenas 0,31% ao final de 1989.

As fontes renováveis, também, nesta década, mostraram-se superiores em produção frente às não renováveis.

Tabela 3 - Produção de energia primária no Brasil 1980-1989 10^3 tep (toe)

FONTES	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Não renovável	**14.058**	**16.240**	**22.411**	**26.537**	**33.789**	**38.267**	**39.044**	**39.327**	**38.262**	**40.178**
Petróleo	9.256	10.928	13.338	16.911	23.712	28.080	29.433	29.104	28.448	30.623
Gás natural	2.189	2.457	3.008	3.983	4.866	5.427	5.644	5.738	6.005	6.060
Carvão vapor	1.493	1.922	2.194	2.355	2.657	2.620	2.491	2.377	2.492	2.221
Carvão metalúrgico	991	726	731	751	836	903	854	636	789	675
Urânio (u_3o_8)	0	0	2.900	2.312	1.399	1.011	365	1.151	183	355
Outras não renováveis	129	206	241	224	320	227	258	320	345	244
Renovável	**52.347**	**52.741**	**54.309**	**59.680**	**65.559**	**68.723**	**67.216**	**71.045**	**70.368**	**70.783**
Energia hidráulica	11.082	11.241	12.132	13.022	14.321	15.334	15.682	15.955	17.115	17.596
Lenha	31.083	30.415	29.109	30.233	33.340	32.925	32.766	32.777	32.565	32.953
Produtos da cana	9.301	10.196	12.140	15.455	16.793	19.108	17.257	20.772	19.032	18.480
Eólica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras renováveis	881	888	928	970	1.105	1.356	1.512	1.542	1.657	1.754
Total	**66.404**	**68.981**	**76.721**	**86.217**	**99.348**	**106.990**	**106.261**	**110.372**	**108.630**	**110.961**

Fonte: EPE (2018)

Na Tabela 4, vê-se uma troca de fonte mais predominante, e destaca-se por todo o período, o Petróleo, fonte não renovável, e agressiva ao meio ambiente. Observa-se também que, neste período, a proporção variou de aproximadamente 38,20% em 1990 até 48,61% em 1999 de produção de fontes não renováveis e de 61,80% em 1980 e 51,39% em 1989 de fontes renováveis.

As fontes renováveis, também, nesta década, mostraram-se superiores em produção frente às não renováveis.

Já a fonte petróleo, representou neste período o montante de aproximadamente 38,66% e a geração de energia hidráulica foi menor, por volta de 17,20% do total.

A oferta total de energia no Brasil neste período apresentou um crescimento de 35,95%.

Neste período também não existiu a produção de energia eólica ou solar.

Já a produção de energia nuclear (Urânio) apresentou só no ano de 1990 a produção de 0,04% do total no ano de 1990, e no ano de 1998 de apenas 0,01% ao final de 1999, não havendo produção alguma no restante do período.

Tabela 4 - Produção de energia primária no Brasil 1990-1999 *10^3 tep (toe)*

FONTES	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Não renovável	**41.139**	**41.189**	**41.674**	**42.713**	**44.481**	**46.022**	**51.789**	**55.917**	**63.754**	**71.184**
Petróleo	32.550	32.117	32.466	33.169	34.446	35.776	40.521	43.590	50.512	56.612
Gás natural	6.233	6.548	6.924	7.301	7.699	7.896	9.088	9.752	10.708	11.810
Carvão vapor	1.595	1.954	1.794	1.784	1.943	1.967	1.792	2.111	2.067	2.110
Carvão metalúrgico	320	147	81	37	76	68	85	58	13	19
Urânio (u_3o_8)	51	0	0	0	0	0	0	0	23	0
Outras não renováveis	391	422	407	422	317	315	302	406	431	633
Renovável	**66.551**	**67.498**	**66.691**	**66.951**	**70.419**	**69.475**	**71.000**	**74.461**	**74.491**	**75.226**
Energia hidráulica	17.770	18.722	19.200	20.208	20.864	21.827	22.847	23.982	25.056	25.188
Lenha	28.537	26.701	25.089	24.803	24.858	23.261	21.969	21.663	21.261	22.126
Produtos da cana	18.451	20.093	20.064	19.378	22.010	21.778	23.397	25.939	25.155	24.575
Eólica	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras renováveis	1.793	1.982	2.338	2.562	2.688	2.608	2.786	2.877	3.019	3.337
Total	107.690	108.688	108.365	109.663	114.900	115.497	122.789	130.378	138.245	146.411

Fonte: EPE (2018)

Na Tabela 5, permanece a fonte predominante, e destaca-se por todo o período, o Petróleo, fonte não renovável e agressiva ao meio ambiente. Observa-se também que, neste período, a proporção variou de aproximadamente 52,66% em 2000 até 53,79% em 2009 de produção de fontes não renováveis e de 47,34% em 2000 e 46,21% em 2009 de fontes renováveis.

Já a fonte petróleo, representou neste período o montante de aproximadamente 41,96% e a geração de energia hidráulica foi menor, por volta de 13,98% do total. A oferta total de energia no Brasil neste período apresentou um crescimento de 56,68%. Neste período também não existiu a produção de energia solar.

A energia eólica despontou com início de produção e disponibilização das primeiras infraestruturas para geração e distribuição, sendo uma nova fonte renovável e limpa no ano de 2001 com a produção de 0,002% do total gerado no país.

Já a produção de energia nuclear (Urânio) apresentou no ano de 2000 a produção de 0,08% do total no ano de 2000, e no ano de 2009 com uma significativa melhora chegando ao valor de 1,71%.

As fontes renováveis, nesta década, mostraram-se pouco inferiores em produção frente às não renováveis, o que pode indicar um sinal de alerta, que encaminha a necessidade da busca da implementação urgente de fontes renováveis que possam substituir as não renováveis de forma a garantir sustentabilidade à matriz nacional.

Tabela 5 - Produção de energia primária no Brasil 2000-2009 ***10³ tep (toe)***

FONTES	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Não renovável	**80.756**	**84.561**	**96.783**	**98.616**	**100.350**	**106.867**	**112.636**	**116.084**	**123.161**	**129.340**
Petróleo	63.849	66.742	74.927	77.225	76.641	84.300	89.214	90.765	94.000	100.918
Gás natural	13.185	13.894	15.416	15.681	16.852	17.575	17.582	18.025	21.398	20.983
Carvão vapor	2.603	2.175	1.936	1.785	2.016	2.348	2.200	2.257	2.552	1.913
Carvão metalúrgico	10	10	63	38	137	135	87	92	101	167
Urânio (u_3o_8)	132	669	3.335	2.745	3.569	1.309	2.338	3.622	3.950	4.117
Outras não renováveis	978	1.071	1.106	1.142	1.134	1.200	1.214	1.323	1.159	1.242
Renovável	**72.577**	**71.826**	**77.477**	**85.126**	**89.888**	**93.655**	**99.166**	**107.624**	**113.394**	**111.118**
Energia hidráulica	26.168	23.028	24.604	26.283	27.589	29.021	29.997	32.165	31.782	33.625
Lenha	23.054	22.437	23.645	25.965	28.187	28.420	28.496	28.618	29.227	24.609
Produtos da cana	19.895	22.800	25.279	28.357	29.385	31.094	35.133	40.458	45.019	44.775
Eólica	0	3	5	5	5	8	20	57	102	106
Solar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras renováveis	3.460	3.557	3.944	4.516	4.721	5.112	5.519	6.325	7.265	8.002
Total	**153.334**	**156.386**	**174.260**	**183.742**	**190.238**	**200.522**	**211.802**	**223.708**	**236.555**	**240.458**

Fonte: EPE (2018)

Na Tabela 6, permanece a fonte mais predominante, e destaca-se por todo o período, o Petróleo, fonte não renovável e agressiva ao meio ambiente. Observa-se também que, neste período, a proporção variou de aproximadamente 53,03% em 2010 até 58,17% em 2018 de produção de fontes não renováveis e de 46,97% em 2010 e 41,83% em 2018 de fontes renováveis.

Já a fonte petróleo, representou neste período o montante de aproximadamente 43,70% e a geração de energia hidráulica foi menor, por volta de 10,90% do total. A oferta total de energia no Brasil neste período apresentou um crescimento de 21,1%.

Neste período inicia-se a produção de energia solar. No ano de 2015 observa-se que a produção foi equivalente a 0,0017% do total e no ano de 2018 chegou a 0,097% do total.

A energia eólica fonte renovável e limpa no ano de 2010 participou com a produção de 0,074% do total gerado no país e terminou no ano de 2018 com uma contribuição de 1,36%.

Já a produção de energia nuclear (Urânio) apresentou no ano de 2010 a produção de 0,70% do total no ano de 2000, e no ano de 2015 caiu significativamente para o valor de 0,18% e depois disso, até o final do ano de 2018 mais nenhuma produção foi registrada.

Como destaque, ainda nesta Tabela 6, observa-se que o uso de carvão metalúrgico, como fonte de energia, desapareceu no ano de 2010 e não houveram mais registros sobre esta fonte até final do ano de 2018.

Novamente, nesta década, as fontes não renováveis superaram em volume as renováveis.

Durante as décadas estudadas, foi possível identificar uma interessante predominância do Petróleo como principal fonte não renovável primária e com relação às fontes primárias renováveis observou-se uma alternância entre a Lenha (de 1970 a 1989) da geração hidráulica (1990 a 2009) e finalmente com a predominância das fontes primárias derivadas dos produtos da cana iniciando-se em 2002 e estendendo-se até o final do período de 2010 a 2018.

Tabela 6 - Produção de energia primária no Brasil 2010-2018 ***10³ tep (toe)***

FONTES	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Não renovável	**134.277**	**140.533**	**140.573**	**139.997**	**153.920**	**165.795**	**172.540**	**179.477**	**178.460**
Petróleo	106.559	108.976	107.258	104.762	116.705	126.127	130.373	135.907	134.067
Gás natural	22.771	23.888	25.574	27.969	31.661	34.871	37.610	39.810	40.560
Carvão vapor	2.104	2.134	2.517	3.298	3.059	2.459	2.636	1.930	2.005
Carvão metalúrgico	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Urânio (u_3o_8)	1.767	4.209	3.881	2.375	681	512	0	0	0
Outras não renováveis	1.075	1.326	1.343	1.592	1.814	1.826	1.921	1.831	1.828
Renovável	**118.922**	**115.854**	**116.396**	**118.096**	**118.702**	**120.481**	**122.180**	**122.169**	128.304
Energia hidráulica	34.683	36.837	35.719	33.625	32.116	30.938	32.758	31.898	33.452
Lenha	25.997	25.997	25.683	24.580	24.936	24.900	23.095	23.424	24.146
Produtos da cana	48.852	43.270	45.117	49.304	49.273	50.424	50.658	49.725	50.895
Eólica	187	233	434	566	1.050	1.860	2.880	3.644	4.169
Solar	-	-	-	-		5	7	72	298
Outras renováveis	9.202	9.518	9.443	10.021	11.327	12.354	12.781	13.406	15.345
Total	**253.198**	**256.387**	**256.969**	**258.092**	**272.622**	**286.277**	**294.720**	**301.646**	**306.764**

Fonte: EPE (2018)

4.1 Construção dos arquivos.vna para análise das redes no software Ucinet

O *software* Ucinet, demanda, para construir as matrizes relacionais para a análise quantitativa de uma rede, um arquivo em formato proprietário (.vna – *visual network analysis*) que é um repositório de informações para a execução das funções presentes na codificação do *software* Ucinet.

A Figura 10 exibe um exemplo da construção de um arquivo.vna desta pesquisa, mais especificamente para o ano de 1970.

Como é possível verificar, o arquivo divide-se em duas partes, sendo primeiro os dados dos nós (*node data*) onde são descritos todos os atores que fazem parte da rede e, os dados dos links estabelecidos entre os atores (*tie data*).

Figura 10 – Construção do arquivo VNA para o ano de 1970 para análise de redes.

```
*node data
actor
Brasil
Petroleo
Gas_natural
Carvao_Vapor
Carvao_Metalurgico
Uranio
Outras_nao_Renovaveis
Hidraulica
Lenha
Produtos_cana
Eolica
Solar
Outras_Renovaveis

*tie data
from    to      relation
Petroleo        Brasil  8161
Gas_natural     Brasil  1255
Carvao_Vapor    Brasil  611
Carvao_Metalurgico      Brasil  504
Uranio  Brasil  0
Outras_nao_Renovaveis   Brasil  60
Hidraulica      Brasil  3422
Lenha   Brasil  31852
Produtos_cana   Brasil  3601
Eolica  Brasil  0
Solar   Brasil  0
Outras_Renovaveis       Brasil  163
```

Fonte: Elaborado pela Autora, por meio do *Software Ucinet 6* (2019)

4.2 Imagens dos arquivos de reposta obtidos para o processamento dos “.vnas” para centralidades e para densidades.

Com a execução do arquivo “.vna” no Ucinet, tem-se acesso ao processamento de indicadores estruturais, como no caso desta pesquisa. Inicialmente os indicadores de centralidade (Figura 11) e os indicadores de densidade (Figura 12) que exibem por exemplo, os indicadores para o ano de 1970.

Neste trabalho, foram executados os arquivos “.vna” para todos os anos dos quais foram obtidos dados, ou seja, de 1970 a 2018 que serão apresentados em forma de tabelas mais adiante.

Figura 11 - Imagem do arquivo de resposta obtido para o processamento dos VNA para centralidade do ano 1970.

FREEMAN'S DEGREE CENTRALITY MEASURES

Diagonal valid? NO
Model: ASYMMETRIC
Input dataset: 1970-Net (C:\Users\Usuário\Documents\UCINET data\1970-Net

		1 OutDegree	2 InDegree	3 NrmOutDeg	4 NrmInDeg
7	Lenha	31852.000	0.000	8.333	0.000
10	Petroleo	8161.000	0.000	2.135	0.000
11	Produtos_cana	3601.000	0.000	0.942	0.000
6	Hidraulica	3422.000	0.000	0.895	0.000
5	Gas_natural	1255.000	0.000	0.328	0.000
3	Carvao_Vapor	611.000	0.000	0.160	0.000
2	Carvao_Metalurgico	504.000	0.000	0.132	0.000
8	Outras_Renovaveis	163.000	0.000	0.043	0.000
9	Outras_nao_Renovaveis	60.000	0.000	0.016	0.000
1	Brasil	0.000	49629.000	0.000	12.984
4	Eolica	0.000	0.000	0.000	0.000
12	Solar	0.000	0.000	0.000	0.000
13	Uranio	0.000	0.000	0.000	0.000

DESCRIPTIVE STATISTICS

		1 OutDegree	2 InDegree	3 NrmOutDeg	4 NrmInDeg
1	Mean	3817.615	3817.615	0.999	0.999
2	Std Dev	8406.029	13224.607	2.199	3.460
3	Sum	49629.000	49629.000	12.984	12.984
4	Variance	70661320.000	174890240.000	4.837	11.971
5	SSQ	1108061696.000	2463037696.000	75.845	168.591
6	MCSSQ	918597184.000	2273573120.000	62.877	155.623
7	Euc Norm	33287.559	49629.000	8.709	12.984
8	Minimum	0.000	0.000	0.000	0.000
9	Maximum	31852.000	49629.000	8.333	12.984
10	N of Obs	13.000	13.000	13.000	13.000

Network Centralization (Outdegree) = 7.946%
Network Centralization (Indegree) = 12.984%

Note: For valued data, the normalized centrality may be larger than 100.
Also, the centralization statistic is divided by the maximum value in the input dataset.

Actor-by-centrality matrix saved as dataset 1970-Net-deg

Fonte: Elaborado pela Autora, por meio do *Software Ucinet 6* (2019)

Figura 12 - Imagem do arquivo de resposta obtido para o processamento dos VNA para densidade do ano 1970

```
BLOCK DENSITIES OR AVERAGES
-------------------------------------------------------------------------------

Input dataset:                          1970-Net (C:\Users\Usu•rio\Documents\UCINET data\1970-Net)


Relation: relation

Density (matrix average) = 318.1346
Standard deviation = 2646.0820

Use MATRIX>TRANSFORM>DICHOTOMIZE procedure to get binary image matrix.
Density table(s) saved as dataset Density
Standard deviations saved as dataset DensitySD
Actor-by-actor pre-image matrix saved as dataset DensityModel

----------------------------------------
Running time:  00:00:01
Output generated:  10 mai 19 11:11:24
UCINET 6.677 Copyright (c) 2002-19 Analytic Technologies
```

Fonte: Elaborado pela Autora por meio do *Software Ucinet 6* (2019)

As tabelas dos itens 4.4 e 4.5 a seguir foram montadas a partir do processamento de todos os arquivos ".vna" gerados para o período de 1970 a 2018 com a ferramenta Ucinet.

Os resultados apresentados na ferramenta foram todos tabulados e serviram para a geração dos gráficos em Excel, apresentados à seguir.

Tabela 7 – 4.4 Tabela das centralidades obtidas dos processamentos de 1970 a 2018.

	Centralidades (%)			Centralidades (%)	
VNA (ano)	**Indegree**	**Outdegree**	**VNA (ano)**	**Indegree**	**Outdegree**
1970	12,984	7,946	**1995**	26,903	6,786
1971	18,094	7,520	**1996**	25,252	6,923
1972	18,962	7,448	**1997**	24,925	6,951
1973	20,986	7,279	**1998**	22,807	7,127
1974	19,167	7,431	**1999**	21,552	7,232
1975	18,663	7,473	**2000**	20,013	7,360
1976	14,603	7,811	**2001**	19,526	7,401
1977	15,601	7,728	**2002**	19,381	7,413
1978	16,412	7,660	**2003**	19,828	7,375
1979	17,038	7,608	**2004**	20,685	7,304
1980	17,803	7,544	**2005**	19,822	7,376
1981	18,899	7,453	**2006**	19,578	7,396
1982	21,964	7,197	**2007**	20,539	7,316
1983	23,764	7,047	**2008**	20,971	7,280
1984	24,832	6,958	**2009**	19,850	7,374
1985	27,079	6,771	**2010**	19,801	7,378
1986	26,641	6,808	**2011**	19,606	7,394
1987	28,061	6,689	**2012**	19,965	7,364
1988	27,799	6,711	**2013**	20,530	7,317
1989	28,060	6,689	**2014**	19,467	7,406
1990	27,571	6,730	**2015**	18,915	7,452
1991	28,201	6,678	**2016**	18,838	7,458
1992	27,814	6,710	**2017**	18,496	7,486
1993	27,552	6,732	**2018**	19,068	7,439
1994	27,797	6,711	**2019**	-	-

Fonte: Elaborado pela Autora, (2019)

Na Tabela 7, observam-se pontos em que a centralidade se destacou até valores próximos de 28,3 o que foi causado por eventos socioeconômicos que serão apresentados na discussão no item 7.4.

Tabela 8 - Tabela das densidades obtidas dos processamentos de 1970 a 2018.

VNA (ano)	**Densidade** (Average 10^3 tep (toe)	**VNA (ano)**	**Densidade** (Average10^3 tep (toe)
1970	318,135	**1995**	740,359
1971	120,426	**1996**	787,096
1972	332,295	**1997**	835,756
1973	337,519	**1998**	886,186
1974	353,968	**1999**	938,526
1975	356,103	**2000**	982,910
1976	358,122	**2001**	1002,474
1977	369,891	**2002**	1117,051
1978	376,141	**2003**	1177,833
1979	398,103	**2004**	1219,462
1980	425,673	**2005**	1285,398
1981	442,173	**2006**	1352,258
1982	491,801	**2007**	1434,019
1983	552,667	**2008**	1516,378
1984	636,853	**2009**	1540,942
1985	685,840	**2010**	1623,058
1986	675,807	**2011**	1643,513
1987	707,513	**2012**	1647,237
1988	696,353	**2013**	1654,436
1989	711,289	**2014**	1747,577
1990	690,327	**2015**	1835,103
1991	696,705	**2016**	1889,224
1992	694,635	**2017**	1933,635
1993	702,974	**2018**	1966,442
1994	736,545	**2019**	-

Fonte: Elaborado pela Autora (2019)

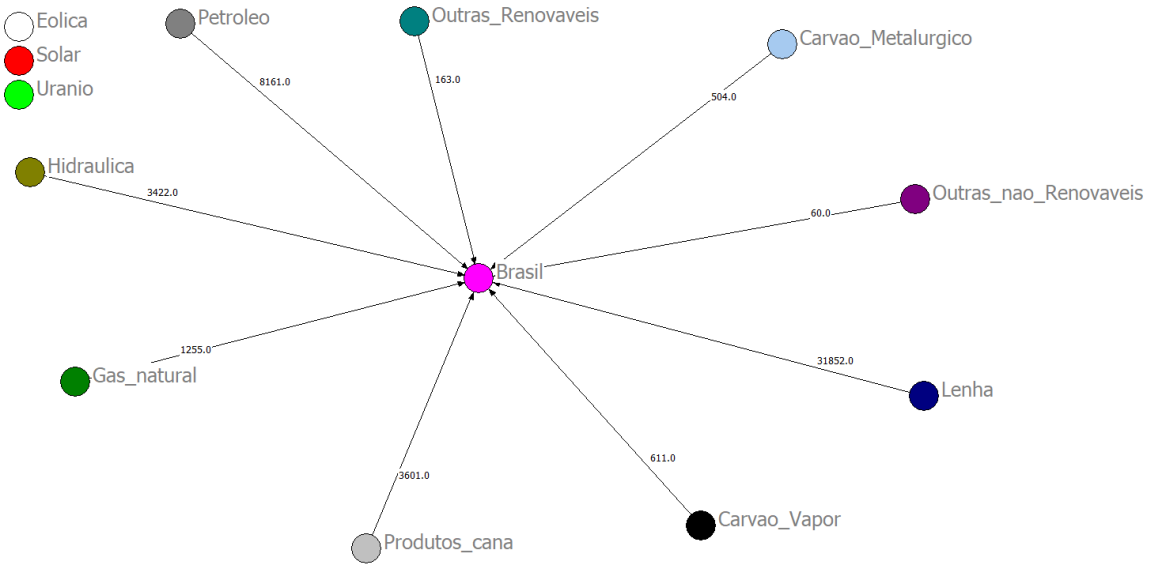
Nesta Tabela 8, verifica-se o comportamento crescente das densidades, fato devido ao aumento da contribuição das fontes frente ao atendimento do aumento da demanda por energia no país.

4.3 Grafos obtidos para cada um dos anos de 1970 a 2018 do estudo obtidos com a ferramenta de visualização NETDRAW do UCINET

A rede apresentada a seguir, Figura 14, foi obtida com o uso da ferramenta de apoio do *software Ucinet*, o *Netdraw*, que permite, à partir do processamento dos arquivos ".vna", construir um grafo com a visualização da rede cujos dados foram imputados no *software*.

Este e todos os demais grafos gerados para os anos de 1971 a 2018 (ver apêndice) foram também construídos segundo as recomendações dadas por (MOLLO NETO 2015); (BORGATTI; EVERETT, M.; FREEMAN L., 2002); (SCOTT, 1996); (NASCIMENTO, 2013).

Figura 13 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1970.



Fonte: Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Note-se que, neste grafo, é destaque que as três fontes referentes às fontes primárias com geração dos tipos Urânio, Eólica e Solar, encontram-se ao lado esquerdo, isoladas das relações com o Brasil, ao centro, sem nenhuma conexão, devido ao fato de não existirem neste período nenhum volume de contribuição com geração.

4.4 Apresentação do gráfico das Centralidades

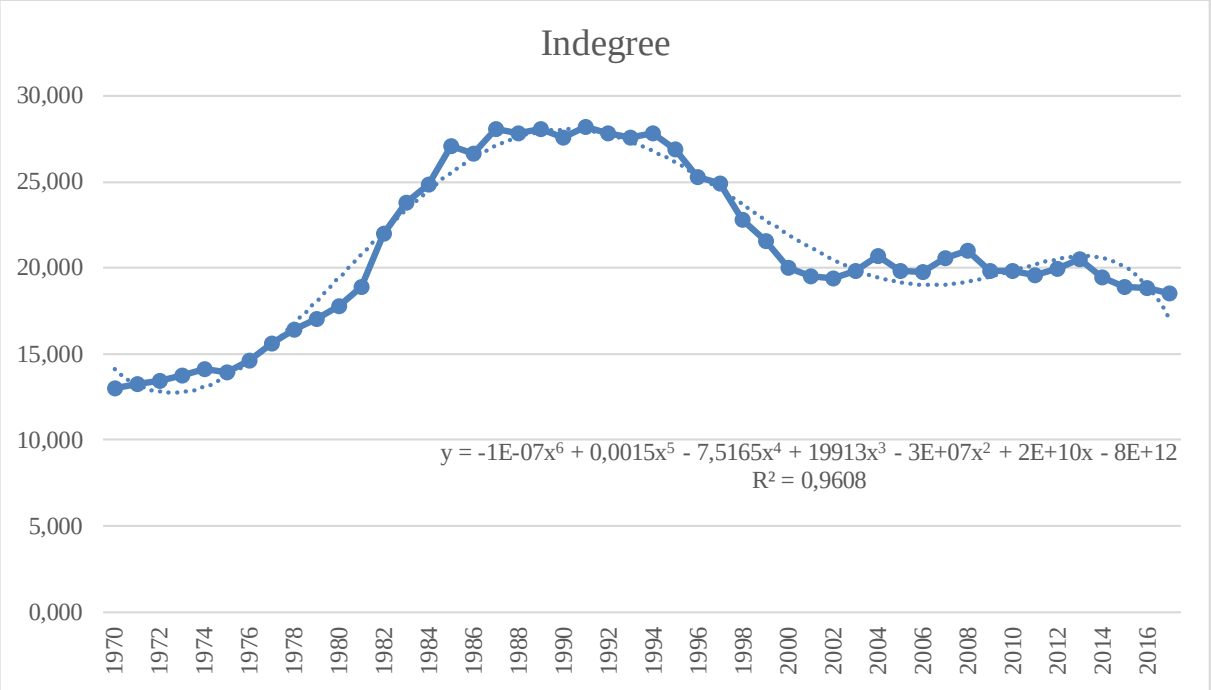
Após a coleta de todos os dados de centralidade de grau de entrada para a contribuição que cada uma das fontes traz à produção de energia no Brasil no período de 1970 a 2018 segundo as indicações de Neto (2015); Tomaél e (2006); Hanneman e Riddle (2005) e principalmente de Emirbayer e Goodwin (1994), foram transferidos os dados para uma planilha Excel e nesta foi gerado o gráfico que pode ser visualizado na Figura 61.

Junto ao gráfico das centralidades, foi plotada a linha de tendência do modelo matemático escolhido que melhor se ajustou ao conjunto de dados, segundo os procedimentos indicados por Bassanezi, (2002), Biembengut; Hein, (2003), Costa, (2016) e Daniel, (2016). Além da plotagem da linha polinomial foi indicado o coeficiente de determinação segundo o trabalho de BASQUIROTO DE SOUZA (2018).

A seguir, o mesmo procedimento foi realizado para os valores referentes às densidades das redes no período de 1970 a 2018 segundo as indicações feitas por (MASQUIETTO; SACOMANO NETO; GIULIANI, 2011) e (LEVINE; KURZBAN, 2006). Os dados foram também transferidos para planilhas do Excel e nesta foi gerado o gráfico que pode ser visualizado na Figura 62.

Junto ao gráfico das densidades, foi plotada a linha de tendência do modelo matemático escolhido que se ajustou ao conjunto de dados. Além da plotagem da linha polinomial, foi indicado o coeficiente de determinação (R^2).

Figura 14 - Imagem do grafo obtido com a compilação de todos os dados de centralidades para os anos de 1970 a 2018.



Fonte: Elaborado pela autora, (2019).

Como pode ser visualizado neste gráfico, o modelo matemático que representa a variação da centralidade da produção de energia primária no Brasil no período de 1970 a 2018, é um polinômio de grau 6 que pode ser visto na Equação 5:

$$y = -2E\text{-}07x^6 + 3E\text{-}05x^5 - 0{,}0014x^4 + 0{,}0253x^3 - 0{,}1493x^2 + 0{,}535x + 14{,}173 \quad Eq.\ 5$$

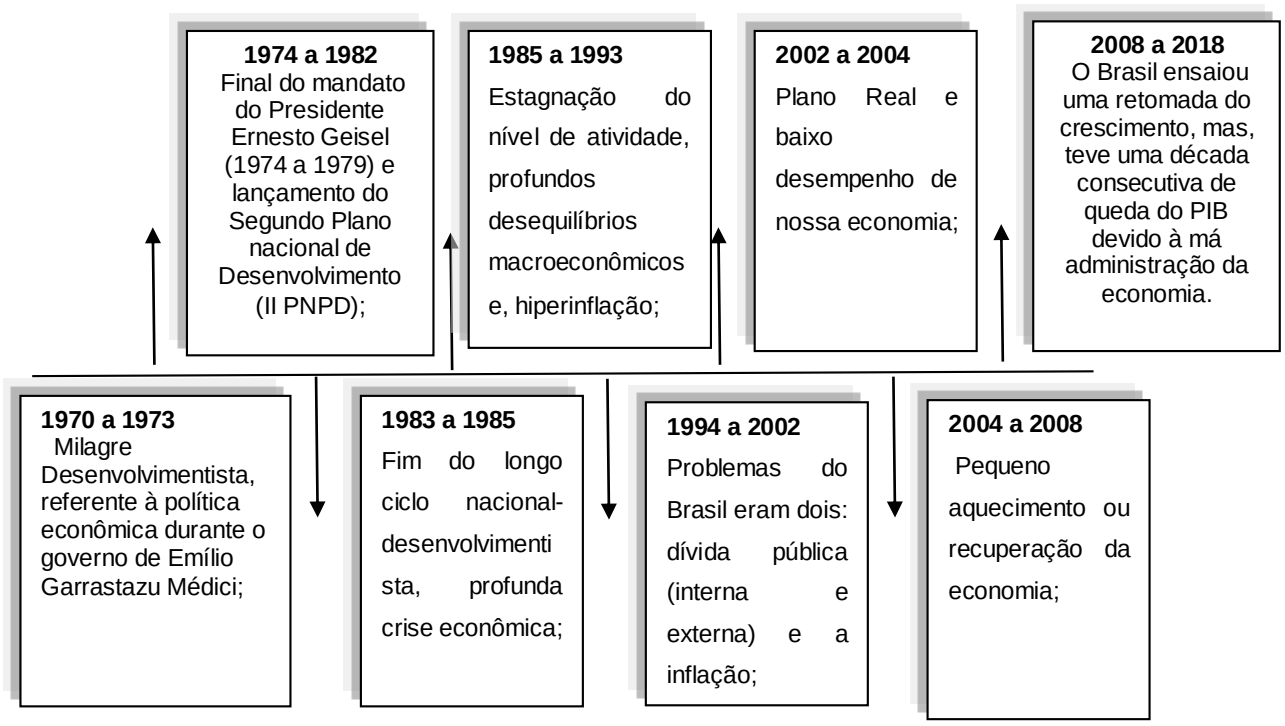
$$R^2 = 0{,}9608$$

O polinômio encontrado, tem a conformação indicada por DANIEL (2016).

Já o coeficiente de determinação encontrado para este polinômio foi igual a **0,9608**. Isto indica que o modelo representa bem a realidade da excursão dos dados, visto ser próximo de 1 como indicado por MOLLO NETO et al. (2014).

Neste gráfico destaca-se alguns períodos temporais como exibe a Figura 15, onde destacam-se picos de centralidade, onde, de acordo com os dados obtidos da Tabela 7, são decorrentes de movimentos socioeconômicos. Assim, uma busca foi realizada e como resultados foram obtidos da bibliografia os seguintes pontos para discussão:

Figura 15 - Linha do tempo com destaque aos períodos temporais identificados no gráfico das centralidades.



Fonte: Elaborado pela autora, (2019).

Desta linha do tempo, pode-se inferir e buscar junto às bibliografias disponíveis os fatos geradores das variações apresentadas no gráfico da Figura 15, como segue:

O primeiro pico de centralidade no ano de 1973, o que resulta de movimentos que, segundo Macarini (2005) são referentes à política econômica durante o governo de Emílio Garrastazu Médici, período que se tornou conhecido pela descrição oficial do auge cíclico então em curso como se fora um ciclo desenvolvimentista capaz de prolongar-se por décadas projetando a superação do atraso, mas o mesmo autor destaca que a marca distintiva da política monetária durante o "milagre" foi o seu caráter expansionista e, pelo menos em 1970, a sua execução refletiu certa cautela: a expansão real da oferta de moeda não passou de 6%, de longe o desempenho mais modesto observado de 1967 a 1973 e complementa dizendo que em 1972-1973, combinam-se uma conjuntura econômica internacional e doméstica de intenso crescimento, geradora de dificuldades para a

condução da política econômica; esta, ademais, explicita em sua formulação ambições que aprofundam as dificuldades.

É conveniente, pois, segundo Macarini (2005) tratar em separado esse subperíodo, considerando-o uma nova fase (terminal) da política econômica do "milagre" – na medida em que se verificou a sobreposição de algumas condicionantes novas.

No segundo período observado, tem-se a faixa temporal de 1976 a 1982 com destaque nas centralidades, e foi, segundo descrito no trabalho de Bellingieri (2005) o período correspondente ao final do mandato do Presidente Ernesto Geisel (1974 a 1979) e o crescimento se deveu, muito provavelmente ao lançamento do segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (II PNPD), cujo objetivo principal foi o de promover um ajuste na estrutura de oferta de longo prazo, simultaneamente à manutenção do crescimento.

Conforme relatos do Marangoni (2012), em seu estudo “Anos 1980, década perdida ou ganha?”, o autor relata que os anos 1980 foram marcados por uma profunda crise econômica e pelo fim da ditadura (1964-85). Complementa dizendo que “Se usarmos uma métrica flexível, podemos dizer que o ano de 1980, no âmbito da economia, marca o fim do longo ciclo nacional-desenvolvimentista, iniciado em 1930”.

Ainda segundo Marangoni (2012), havia condicionantes internos e externos na interrupção daquele ciclo. A chegada dos anos 1980 assinalou o fim de um tempo para o capitalismo mundial e a inviabilização do projeto desenvolvimentista nos países da periferia. Nas economias avançadas, os anos de crescimento contínuo, verificados entre 1945 e 1975, entraram em declínio.

Além disso, segundo o autor, a Organização dos Países Produtores de Petróleo (OPEP) decidiu reorganizar o mercado internacional do combustível, promovendo duas elevações nos preços internacionais do produto, em 1973 e 1979. Os preços do petróleo aumentaram 12 vezes nesse intervalo, criando sérias dificuldades para os países importadores, entre eles o Brasil.

A crise levaria o último governo da ditadura, chefiado pelo general João Figueiredo (1979-85), a tomar medidas drásticas. O objetivo inicial era deter a apreciação da moeda nacional notada em anos anteriores, incentivar as exportações e fazer frente ao aumento do déficit em conta corrente (MARANGONI, 2012).

Desta forma, em 1981, o país entrava em uma recessão que perduraria até o segundo semestre de 1982, exatamente como refletido no grafo que apresenta as centralidades e destacando a estagnação por este período com a interrupção do crescimento.

Bresser-Pereira - economista, cientista político, cientista social, administrador de empresas e advogado brasileiro e que também foi ministro da Fazenda do Brasil (1987), disse que “Os anos 1980 foram perdidos do ponto de vista econômico” (MARANGONI, 2012).

A década de 80 foi marcada pela estagnação do nível de atividade, por profundos desequilíbrios macroeconômicos e, em especial, pela hiperinflação virtual. No período 1980-1993, a taxa de crescimento média da economia brasileira foi muito baixa, de apenas 2,1% a.a., fazendo com que o país registrasse uma estagnação do PIB per capita entre 1980 e 1993, como é visto no gráfico das centralidades na Figura 15.

Isto também foi destacado pelo trabalho de Andrada (2017), que diz que “Na historiografia econômica o termo "década perdida" se refere ao período entre 1981 e 1993, quando o PIB per capita do Brasil encolheu em termos absolutos. Em 1981 o PIB per capita era de US$ 8,3 mil, enquanto em 1993 ele caiu era de US$ 8,1”.

Segundo o autor, isso significa, de maneira simples e objetiva, que em 1993 estávamos mais pobres do que o éramos em 1981.

Estes movimentos podem ser diretamente relacionados à acentuada queda das centralidades obtidas no gráfico da Figura 15 no período compreendido entre 1994 e 2002, onde se vislumbra uma forte queda.

Andrada (2017) destaca que, durante esse período acreditava-se que os problemas do Brasil eram dois: dívida pública (interna e externa) e a inflação. Resolvidos esses problemas, voltaríamos a crescer.

Reforça dizendo que em 1994 foi implementado o Plano Real, e durante os anos FHC a questão da inflação foi resolvida. O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) que fora de incríveis 2.477,15% em 1993, passou para 22,41% em 1995, ficando abaixo de um dígito em 1996.

O desempenho de nossa economia durante os anos FHC (1995-2002) foi irrisório (ANDRADA, 2017).

A partir do ano de 2002 até 2004, observou-se um pequeno aquecimento ou recuperação da economia, também possível de ser identificado no gráfico da Figura 14.

Este fato, foi destacado por Andrada (2017) que destaca que “Durante o governo Lula (2003-2010) o Brasil ensaiou uma retomada do crescimento.

Lula entregou o país com um PIB per capita de pouco mais US$ 11 mil. Um aumento de 20% em relação ao que recebera, enquanto no governo FHC o incremento foi de apenas 4,4%.

Segundo o mesmo autor, esta foi a época do "espetáculo do crescimento", da "nova classe média". Andrada (2017) conclui dizendo, sobre este período que, tivemos pela primeira vez na história do país dois anos consecutivos de queda do PIB e Projetou-se para 2017 uma queda de mais de 3% e de quase 2% para o ano de 2018.

Este período também pode ser visto refletido claramente no gráfico da Figura 15 que representa o comportamento das centralidades com a forte tendência de queda, estendendo-se até o ano de 2018, refletindo o baixo aporte de investimentos no período.

4.5 Apresentação do gráfico das Densidades.

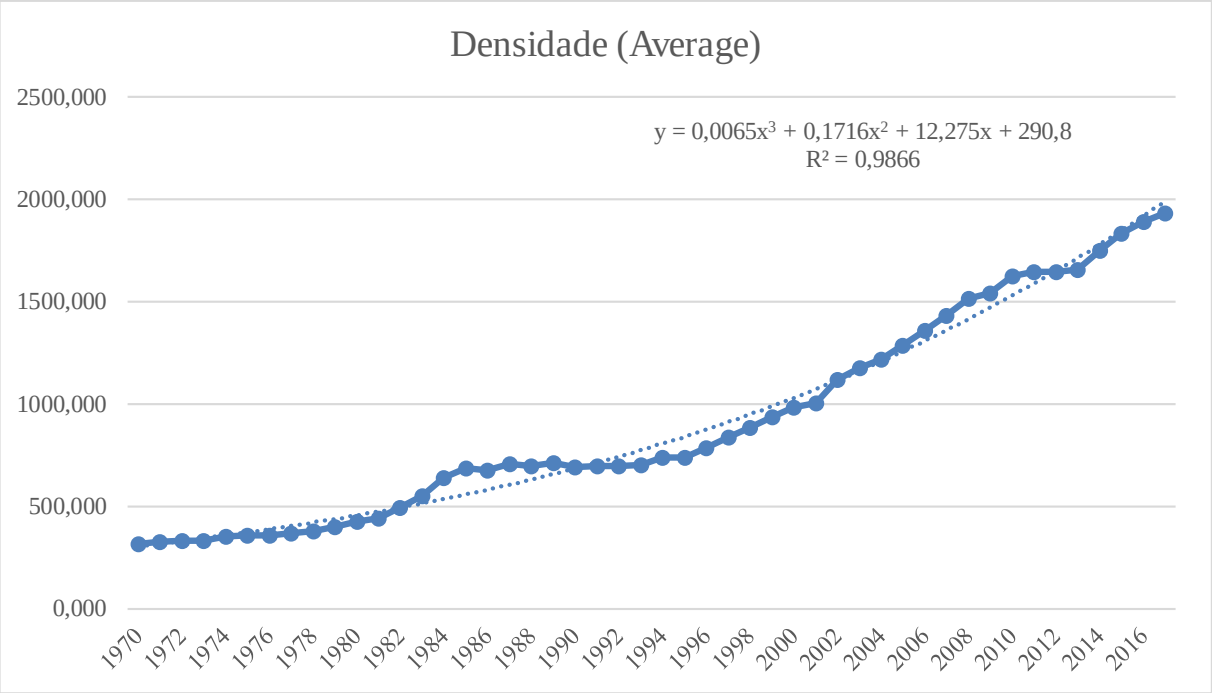
Dos valores anotados para todas as densidades encontradas para os grafos de produção de energia no Brasil no período de 1970 a 2018, aplicando o procedimento determinado pelos autores Masquietto et al. (2011), foi possível montar na ferramenta Excel, o gráfico da Figura 16.

Junto ao gráfico das densidades, foi plotada a linha de tendência do modelo matemático escolhido que melhor se ajustou ao conjunto de dados, segundo os procedimentos indicados por (BASSANEZI, 2002), (BIEMBENGUT; HEIN, 2003), (COSTA, 2016) e (DANIEL, 2016). Além da plotagem da linha polinomial, foi indicado também o coeficiente de determinação (R^2) segundo o trabalho de (BASQUIROTO DE SOUZA, 2018).

A tendência de crescimento da densidade da rede é visível e permite compreender que, devido ao aumento da demanda, as fontes de energia são pressionadas a aumentar o volume de produção, o que faz com que, aquelas que

ganham predominância tenham seus valores majorados fato que eleva a centralidade da rede como um todo. Portanto, com a ampliação da demanda, aumenta a densidade acompanhando o PIB e o IDH.

Figura 16 - Imagem do grafo obtido com a compilação de todos os dados de densidades para os anos de 1970 a 2018.



Fonte: Elaborado pela autora, (2019).

Segundo informações do Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 publicado pelo EPE (2017), as expectativas de evolução da matriz de consumo de energia por fonte no decênio mostram a manutenção da tendência de crescente eletrificação do País, atingindo um incremento médio anual de 3,7%.

Os mesmos autores destacam que, o setor energético vem experimentando uma notável evolução tecnológica, com epicentro próximo ao consumidor. Uma parte importante desta evolução tem sua origem no setor elétrico – com perspectivas de aumento do uso de geração distribuída, baterias e outros recursos energéticos distribuídos, além de veículos elétricos. E esta evolução impacta diretamente na projeção de demanda de energia do país.

Como pode ser, também, visualizado neste gráfico, o modelo matemático que representa a variação da densidade da produção de energia primária no Brasil

no período de 1970 a 2018, é um polinômio de grau 3 que pode ser visto na Equação 6:

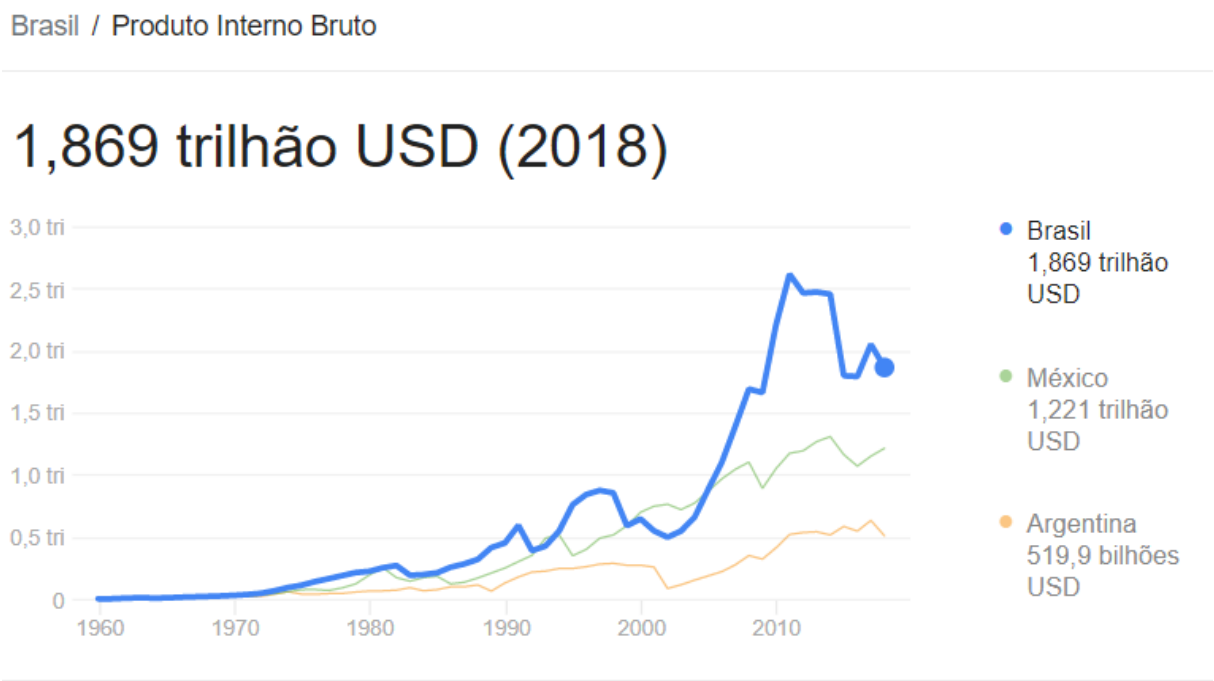
$$y = 0{,}0064x^3 + 0{,}1749x^2 + 12{,}176x + 291{,}69 \qquad Eq.\ 6$$

O polinômio encontrado, tem a conformação indicada por (DANIEL, 2016).

Já o coeficiente de determinação encontrado para este polinômio foi igual a **0,9866**. Isto indica que o modelo representa bem a realidade da excursão dos dados, visto ser próximo de 1 como indicado por (MOLLO NETO et al. 2014).

Como dito anteriormente, esta tendência de crescimento pode ser vista de maneira semelhante no crescimento do PIB, representado pelo gráfico da Figura 17:

Figura 17 – Crescimento do PIB Brasileiro para os anos de 1960 a 2018.



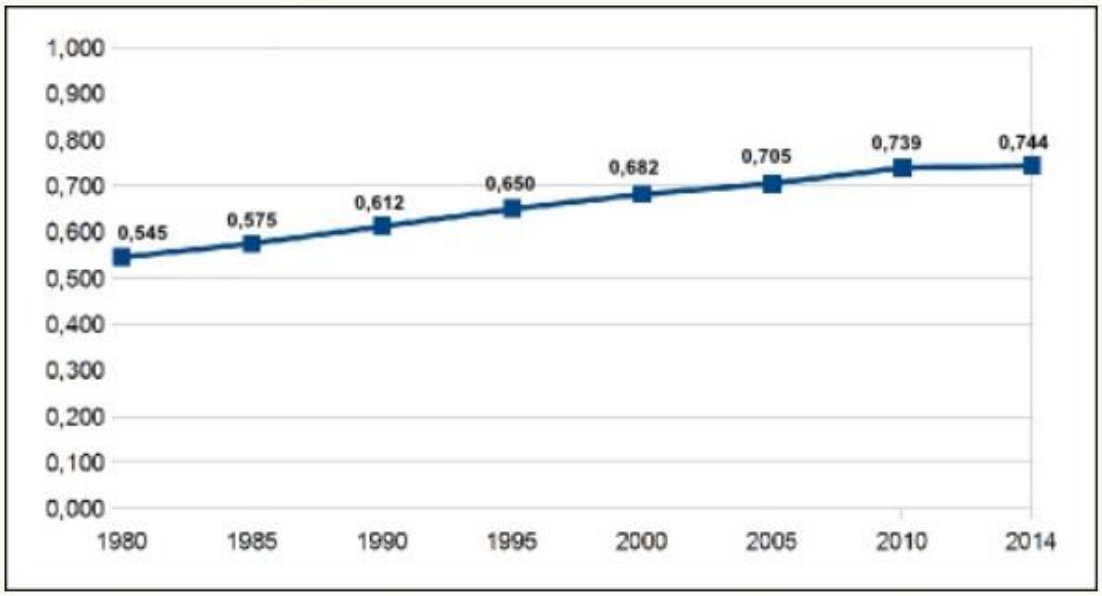
Fonte: World Bank, (2020).

A diferença no final do período, entre os anos de 2013 a 2018, em que se visualiza uma forte queda do PIB é atribuída à estagnação do País relacionada à má

administração econômica e falta de investimentos promovida pelos gestores públicos da gestão de 2011 a 2018 (Governos - Dilma/Temer).

Da mesma forma, esta tendência de crescimento pode ser vista no crescimento do IDH, de maneira modesta e menos abrupta, representado pelo gráfico da Figura 18:

Figura 18 – Crescimento do IDH Brasileiro para os anos de 1980 a 2014.



Fonte: Adaptado pela autora de Pena, (2020).

Destaca-se ainda que, a mesma tendência de crescimento pode também ser visualizada no gráfico da demanda per capita apresentado na Figura 6 da revisão desta pesquisa.

4.6 Retrospectiva da produção de energia primária no Brasil

Com os dados apresentados, foi possível caracterizar a evolução, ao longo da história, da produção de energia primária no Brasil, predominantemente liderada por petróleo e lenha até o ano 1995, atualmente o consumo de lenha ainda se mantém elevado, sendo a quarta fonte de energia que mais contribuiu para a produção de energia primária no Brasil em 2018.

Com relação ao setor petroleiro, em 1990, o petróleo passou a ser a fonte de energia primária mais produzida no Brasil. Essencialmente a produção de

petróleo está sob controle da Petrobrás, que investiu em tecnologia para exploração de jazidas. Em especial a descoberta, em 1984, do campo de Petróleo de Marlin foi um marco histórico importante aumentando a oferta de petróleo.

É possível observar em 2015, o aumento significativo da contribuição de gás natural para a matriz energética, subproduto da extração do petróleo. Historicamente os dados revelam um salto três vezes maior em 2010 de petróleo e gás natural comparado a década de 1970. Atualmente o Gás natural contribuiu 12,5% na matriz energética (BEN, 2019).

O potencial energético brasileiro também se destaca pela produção de energia a partir de produtos da cana, em 2018 a produção de etanol, por exemplo, teve aumento de 45,2% em relação ao ciclo anterior segundo Conab (2019), evidenciado no grafo do ano de 2018, onde produtos da cana foram a segunda fonte que mais contribuiu para a produção de energia primária. As fontes lenha e carvão diminuíram sua contribuição na oferta de energia primária com a implantação do programa Pro Álcool, devido à crise do Petróleo em meados de 1970.

Em relação a energia nuclear, a primeira contribuição dessa fonte energética no Brasil ocorreu em 1982 com a inauguração da Usina Angra I, sendo interrompida sua operação em 1991, e retomando sua produção contínua em 2000, contudo, desde 2015 não há produção de energia primária da fonte nuclear na matriz energética brasileira.

Um importante resultado, como já citado anteriormente, foi observado com a evolução e do petróleo como oferta de fonte primária não renovável e a alternância das ofertas das fontes não renováveis que, apresentaram uma evolução no início dos anos 1970 até o final da década em 1979 com a predominância da lenha, passando para a geração de energia hidráulica que foi a mais importante por duas décadas de 1980 a 2009, fato que reflete a inauguração em 5 de maio de 1984 da entrada em operação da primeira unidade geradora da usina de Itaipu e depois disso a sua integralização de capacidade ao longo das duas décadas indicadas. Após este período nova troca foi observada, acabando a modalidade hidráulica por ser suplantada pelos produtos derivados da cana, o que se estende até o ano de 2018. Este fato chama a atenção e permite inferir que os investimentos realizados neste setor de energia foram muito efetivos e contribuem significativamente para a matriz energética nacional.

No período de 2010 a 2018, a participação de oferta das fontes primárias renováveis, em termos percentuais, já não está tão distante das participações das ofertas das fontes primárias não renováveis, quase chegando a dividir igualmente disponibilidade para a composição da matriz.

Estas constatações vão de encontro aos dados disponibilizados pelo (EPE, 2018).

5 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento da presente pesquisa foi possível por meio de levantamentos de dados obter os totais de energia primária gerados no país dentro do período de 1970 a 2018 para as diversas fontes que contribuem para a matriz brasileira;

Foi possível, com a aplicação da ferramenta computacional UCINET e seu módulo de visualização Netdraw, determinar as matrizes relacionais correspondentes e os indicadores estruturais de centralidade e densidade da oferta de energia primária no Brasil de 1970 a 2018, assim como construir os grafos para cada um dos anos de 1970 a 2018 do estudo obtidos com a ferramenta de visualização;

Com base nos resultados obtidos e a nova prospecção da literatura sobre economia do Brasil no período compreendido entre os anos de 1970 a 2018 tornou-se possível discutir os movimentos realizados por formuladores de políticas públicas com base em dados e experiência do cenário nacional que culminaram numa redução dos investimentos no setor, mesmo que a demanda sempre se encontre em crescimento, mas segue atrelada aos resultados de pequenos incrementos no PIB e no IDH no período pesquisado.

A pesquisa teve como objetivo geral documentar o cenário do comportamento da produção de energia primária no Brasil a elaborar os modelos matemáticos que representam a variação dos indicadores estruturais da rede constituída no período de 1970 a 2018, fato que foi confirmado com a geração dos modelos matemáticos extraídos dos gráficos de centralidade e densidade gerados com o suporte das ferramentas Ucinet e Netdraw.

Como recomendações para a continuidade dos trabalhos, pode-se considerar a avaliação da evolução das centralidades e densidades para as mesmas fontes de energia primária do Brasil, de forma a averiguar se com a troca do governo ocorrida em 2019, mediante as novas políticas públicas adotadas, haverá um ponto de inflexão para que a tendência de queda abrupta vista no período de 2002 a 2018 seja interrompida e nosso país volte a encontrar-se em um novo período de crescimento, o que resultaria em novos investimentos em infraestruturas, levando a

ampliar ainda mais as densidades, colaborando de forma a melhorar os resultados do PIB e do IDH.

REFERÊNCIAS

ALVIM, C. F. et al. Energia Final e Equivalente - Procedimento Simplificado de Conversão, **Economia & Energia,** v. 18, 2000. Disponível em: <https://ecen.com/eee18/enerequi.htm>. Acesso em: 28 abr. 2019.

ANDRADA, A. **Uma breve história da economia brasileira (1948-2018)**. Disponível em: <https://www.huffpostbrasil.com/alexandre-andrada/uma-breve-historia-da-economia-brasileira-1948-2018_b_8720394.html>. Acesso em: 29 jan. 2020.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap5.pdf>. Acesso em: 22 set. 2019.

ANEEL. **BIG - Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 4 abr. 2019.

BANCO MUNDIAL. **Acesso universal a energia: muito mais que eletricidade**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2018/05/18/sustainable-development-goal-7-energy-access-all>. Acesso em: 26 out. 2019.

BASQUIROTO DE SOUZA, F. B. de. **Engenheiros: Como obter a equação de regressão de um conjunto de dados no Excel?** Disponível em: <https://2engenheiros.com/2018/12/18/equacao-regressao-excel/>. Acesso em: 11 jul. 2019.

BASSANEZI, R. **Ensino - aprendizagem com Modelagem matemática**. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2002.

BELKE, A.; DOBNIK, F.; DREGER, C. Energy Consumption and Economic Growth: New Insights into the Cointegration Relationship. **Energy Economics**, v. 33, n. 5, p. 782–789, set. 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988311000417>. Acesso em: 9 jul. 2019.

BELLINGIERI, J. C. Revista Online Fabibe. **A economia no período militar (1964-1984): crescimento com endividamento**, v. 1, p. 13, 2005. Disponível em: <http://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/hispecielemaonline/sumario/9/16042010171928.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2020.

BEN. **Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese BEN 2019 Ano Base 2018**. Rio de Janeiro: EPE, maio 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2019.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem Matemática no ensino**. 3. ed. São Pualo: Contexto, 2003.

BLOOMBERG NEF. **Clean Energy Investment Exceeded $300 Billion Once Again in 2018**. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/clean-energy-investment-exceeded-300-billion-2018/>. Acesso em: 7 abr. 2019.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M.,G.; FREEMAN, L., C. **Ucinet 6 for Windows: Software for Social Network Analysis**Harvard, 2002. . Disponível em: <https://pages.uoregon.edu/vburris/hc431/Ucinet_Guide.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2019.

BORGATTI, S. P.; EVERETT, M.; FREEMAN L. **Ucinet for windows: software for social netwark analysis.** Harvard: Analytic Technologies, 2002. Se é um livro eletrônico, precisa colocar o link Disponível em: Acesso em: 7 jul. 2019.

BP, B. P. **BP Statistical Review of World Energy**, jun. 2018. . Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>. Acesso em: 27 out. 2019.

BROWN, J. H. et al. Energetic Limits to Economic Growth. **BioScience**, v. 61, n. 1, p. 19–26, jan. 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article-lookup/doi/10.1525/bio.2011.61.1.7>. Acesso em: 13 abr. 2019.

CAMIOTO, F. de C.; REBELATTO, D. A. do N.; ROCHA, R. T. Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 1, p. 192–203, 29 set. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2016000100192&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 9 jul. 2019.

CARLEY, K. M. et al. Toward an Interoperable Dynamic Network Analysis Toolkit. **Decision Support Systems**, v. 43, n. 4, p. 1324–1347, ago. 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923606000601>. Acesso em: 7 jul. 2019.

CASTRO, N. J.; ROSENTAL, R. **Nova tendência para a Elasticidade-Renda da Demanda de Energia Elétrica no Brasil**. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/biblioteca/0803_CastroRosental_ElasticidadeRendaDemanda.pdf>. Acesso em: 15 set. 2019.

CME. **Resumo do Relatório World Energy Concil**. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/03/LAC-Scenarios_summary-report_Portuguese.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

CONAB, C. N. de A. **Conab - (atualizado) - Produção de etanol no Brasil mantém recorde com 33,14 bilhões de litros**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/2859-producao-de-etanol-no-brasil-mantem-recorde-e-alcanca-33-58-bilhoes-de-litros>. Acesso em: 30 nov. 2019.

CONWAY, F. A First Course in Mathematical Statistics. By C. E. Weatherburn. Pp. Xii + 277. 1961. 18s. 6d. (Cambridge University Press). **The Mathematical Gazette**, v. 46, n. 356, p. 158–158, maio 1962. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/mathematical-gazette/article/a-first-course-

in-mathematical-statistics-by-c-e-weatherburn-pp-xii-277-1961-18s-6d-cambridge-university-press/6163AFC061F90864A3D4D28A18D9A147>. Acesso em: 29 jan. 2020.

COSTA, F. de A. Ensino da Matemática em Debate (ISSN 2358-4122). **ENSINO MATEMÁTICA POR MEIO DA MODELAGEM MATEMÁTICA**, v. 3, n. 1, p. 12, ago. 2016. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emd/article/view/29005>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

DANIEL, D. **Modelagem por Polinômios no Ensino Médio**. 2016. Unicamp, 127 f. Dissertação (mestrado) Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2016. Acesso em: 6 jul. 2019.

DEHMER, M.; EMMERT-STREIB, F.; SHI, Y. Quantitative Graph Theory: A New Branch of Graph Theory and Network Science. **Information Sciences**, v. 418–419, p. 575–580, dez. 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020025517308666>. Acesso em: 2 abr. 2019.

DEMIREL, Y. Energy and Energy Types. In: DEMIREL, Y. (Ed.). **Energy**. London: Springer London, 2012. p. 27–70.

EIA. **EIA's latest International Energy Outlook highlights analysis of China, India, and Africa - Today in Energy - U.S. Energy Information Administration (EIA)**. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36732>. Acesso em: 7 abr. 2019.

EMIRBAYER, M.; GOODWIN, J. American Journal of Sociology. **Network Analysis, Culture, and the Problem of Agency**, v. 99, n. 6, p. 1411–1454, maio 1994.

EPE. **Projeções da Demanda de Energia Elétrica 2017-2026**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-245/topico-261/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF[1].pdf>. Acesso em: 14 abr. 2019a.

EPE. **Plano decenal de expansão de energia 2026**, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-66/Cap2_Texto.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2020.

EPE. **World Energy Outlook 2018**, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/12%20April%20_%20EPE%20WEO%20launch_Clean%20(002).pdf>. Acesso em: 1 nov. 2019.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2018 ano base 2017**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2019b.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 3 abr. 2018.

EPE. **Resenha Mensal: em janeiro de 2019 o consumo nacional de eletricidade cresceu 3,8% ao mesmo mês em 2018.**, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-em-janeiro-de-2019-o-consumo-nacional-de-eletricidade-cresceu-3-8-ao-mesmo-mes-em-2018->. Acesso em: 3 abr. 2019.

EPE; MME. **Cenários de Demanda para o PNE 2050**, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-202/Cen%C3%A1rios%20de%20Demanda.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2019.

FIRJAN. **Anuário da Indústria de Petróleo no Rio de Janeiro Panorama 2019**. Rio de Janeiro: Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/anuario-petroleo-e-gas.htm>. Acesso em: 29 out. 2019.

HANNEMAN, R. Social Network Data. In: HANNEMAN, R.; RIDDLE, M. (Ed.). **Introduction to Social Network Methods**. University of California, Riverside (published in digital form): Department of Sociology, 2005.

IEA. **World Energy Outlook**, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/weo2017/>. Acesso em: 3 abr. 2019.

IEA. **Scenarios**. Disponível em: <https://www.iea.org/weo2018/scenarios/>. Acesso em: 30 mar. 2019a.

IEA. **World Energy Investment**, França 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/wei2018/>. Acesso em: 2 abr. 2019.

IEA. **Key World Energy Statistics 2018**. Disponível em: <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>. Acesso em: 6 abr. 2019c.

INPE; CCST; LABREN. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. [s.l.] São José dos Campos INPE, 2017.

IZQUIERDO, L. R.; HANNEMAN, R. A. **Introduction to the Formal Analysis of Social Networks Using Mathematica. Published in digital form**. In: DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING. Burgos, Spain, 2006. . Disponível em: <http://luis.izqui.org/papers/Izquierdo_Hanneman_2006-version2.pdf>. Acesso em: 5 jul. 2019.

LEVINE, S. S.; KURZBAN, R. Explaining Clustering in Social Networks: Towards an Evolutionary Theory of Cascading Benefits. **Managerial and Decision Economics**, v. 27, n. 2–3, p. 173–187, mar. 2006. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/mde.1291>. Acesso em: 6 jul. 2019.

LIAO, C.-H.; CHEN, M.-Y. Building Social Computing System in Big Data: From the Perspective of Social Network Analysis. **Computers in Human Behavior**, out. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0747563218304813>. Acesso em: 15 abr. 2019.

LIU, X. et al. Factors Driving Energy Consumption in China: A Joint Decomposition Approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 724–734, jan. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617325428>. Acesso em: 7 abr. 2019.

MACARINI, J. P. A política econômica do governo Médici: 1970-1973. **Nova Economia**, v. 15, n. 3, p. 53–92, dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0103-63512005000300003&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 29 jan. 2020.

MAHALINGAM, B.; ORMAN, W. H. GDP and Energy Consumption: A Panel Analysis of the US. **Applied Energy**, v. 213, p. 208–218, mar. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261918300370>. Acesso em: 9 jul. 2019.

MAKAGON, M. M.; MCCOWAN, B.; MENCH, J. A. How Can Social Network Analysis Contribute to Social Behavior Research in Applied Ethology? **Applied Animal Behaviour Science**, v. 138, n. 3–4, p. 152–161, maio 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168159112000354>. Acesso em: 7 jul. 2019.

MARANGONI, G. . Anos 1980, década perdida ou ganha? **Revista de informações e debates** n. 72, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=2759:catid=28&Itemid=23>. Acesso em: 29 jan. 2020.

MASQUIETTO, C. D.; SACOMANO NETO, M.; GIULIANI, A. C. Centrality and Density in Interfirm Networks: A Study of an Ethanol Local Productive Arrangement. **Review of Administration and Innovation - RAI**, v. 8, n. 1, 19 maio 2011. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rai/article/view/79205>. Acesso em: 6 jul. 2019.

MILOVANOVIĆ, S. et al. An approach to identify user preferences based on social network analysis. **Future Generation Computer Systems**, v. 93, p. 121–129, abr. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X18311208>. Acesso em: 15 abr. 2019.

MME. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**, 2019. . Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+

do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Fevereiro+-+2019.pdf/e7e55cd2-2a56-41db-8054-9620095728e4>. Acesso em: 7 abr. 2019.

MOLLO NETO, M. et al. Quantitative analysis supported in SNA of the production milk chain in Brazil. In: XVIITH World Congress Of The International Commission Of Agricultural And Biosystems Engineering (Cigr). Canadian Society For Bioengineering (CSBE/SCGAB). Québec City, Canada, 2010. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301543910_Quantitative_analysis_supported_in_sna_of_the_production_milk_chain_in_Brazil>. Acesso em: 8 abr. 2019.

MOLLO NETO, M. et al. ANÁLISE DE REDES PARA PROSPECÇÃO DE INDICADORES DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL. **Energia na agricultura**, v. 29, n. 4, p. 306–316, 19 dez. 2014. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/1553>. Acesso em: 7 jul. 2019.

MOLLO NETO, M. M. Análise de Redes. In: REIS, J. G. M. (Ed.). **Qualidade em Redes de Suprimentos: a qualidade aplicada ao supply chain management**. São Paulo: Atlas, 2015. p. 62–92.

NASCIMENTO, C. S. D. **PANDORA - Uma Ferramenta para Visualização Incremental e Análise de Redes Sociais Acadêmicas**. 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação (mestrado) Programa de Pós Graduação em Computação - Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/67851/000874023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 jul. 2019.

NOGUEIRA, L. P. P. et al. Will Thermal Power Plants with CCS Play a Role in Brazil's Future Electric Power Generation? **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 24, p. 115–123, maio 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1750583614000607>. Acesso em: 14 abr. 2019.

ONU. **Agenda 2030**, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 3 abr. 2019.

OUEDRAOGO, N. S. Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from the Economic Community of West African States (ECOWAS). **Energy Economics**, v. 36, p. 637–647, mar. 2013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140988312003003>. Acesso em: 9 jul. 2019.

PAIM, M.-A. Evaluating Regulatory Strategies for Mitigating Hydrological Risk in Brazil through Diversification of Its Electricity Mix. **Energy Policy**, p. 9, 2019.

PENA, R. F. A. **IDH do Brasil. Evolução do IDH do Brasil**. Disponível em: <https://alunosonline.uol.com.br/geografia/idh-brasil.html>. Acesso em: 1 fev. 2020.

PENG, H. et al. Incremental Term Representation Learning for Social Network Analysis. **Future Generation Computer Systems**, v. 86, p. 1503–1512, set. 2018.

Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167739X17310117>. Acesso em: 15 abr. 2019.

REN 21. **Renewables 2019 Global Status Report**. France: Frankfurt School UNEP Collaborating Centre for Climate & Sustainable Energy Finance, BloombergNEF and UN Environment., 2019. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf>. Acesso em: 26 out. 2019.

ROSSONI, L.; SILVA, A. J. H.; FERREIRA JÚNIOR, I. Aspectos estruturais da cooperação entre pesquisadores no campo de administração pública e gestão social: análise das redes entre instituições no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 42, n. 6, p. 1041–1067, dez. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122008000600002&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 5 jul. 2019.

SADAVARE, A. B.; KULKARNI, D. R. V. A Review of Application of Graph Theory for Network. **International Journal of Computer Science and Information Technologies**, v. 3, p. 5296–5300, 2012. Acesso em: 2 abr. 2019.

SCOTT, J. Software Review: A Toolkit for Social Network Analysis. **Acta Sociologica**, v. 39, n. 2, p. 211–216, abr. 1996. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/000169939603900205>. Acesso em: 7 jul. 2019.

SHARVINI, S. R. et al. Energy Consumption Trends and Their Linkages with Renewable Energy Policies in East and Southeast Asian Countries: Challenges and Opportunities. **Sustainable Environment Research**, v. 28, n. 6, p. 257–266, nov. 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2468203918300347>. Acesso em: 7 abr. 2019.

SILVEIRA, D. **Crise econômica freia consumo de energia primária no Brasil, aponta Firjan**, 7 ago. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/08/07/crise-economica-freia-consumo-de-energia-primaria-no-brasil-aponta-firjan.ghtml>. Acesso em: 29 out. 2019.

SORRELL, S. Reducing Energy Demand: A Review of Issues, Challenges and Approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 74–82, jul. 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001471>. Acesso em: 13 abr. 2019.

STEKETEE, M.; MIYAOKA, A.; SPIEGELMAN, M. Social Network Analysis. In: **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. Orlando - FL: Elsevier, 2015. p. 461–467.

STOKMAN, F. N. Networks: Social. In: SEMELSER N.J., B. P. B. (Ed.). **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. New York: Elsevier, 2001. p. 10.509-10.514.

TAINTER, J. A. Energy, Complexity, and Sustainability: A Historical Perspective. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 1, n. 1, p. 89–95, jun. 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221042241000002X>. Acesso em: 13 abr. 2019.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos - CEBRAP**, n. 79, p. 47–69, nov. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-33002007000300003&lng=pt&tlng=pt>. Acesso em: 28 abr. 2019.

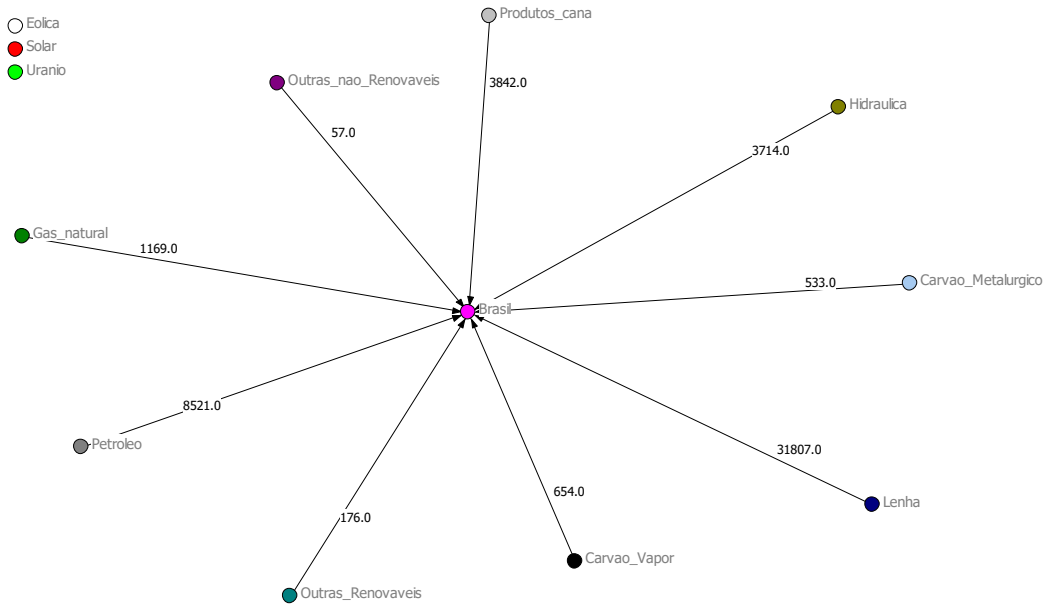
TOMAÉL, M. I.; MARTELETO, R. M. Redes sociais: posições dos atores no fluxo da informação. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 11, p. 75–91, jul. 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/eb/article/view/342>. Acesso em: 6 jul. 2019.

WORLD BANK. **WORLD BANK. GDP (current US$). World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files**. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=BR>. Acesso em: 1 fev. 2020.

APÊNDICE

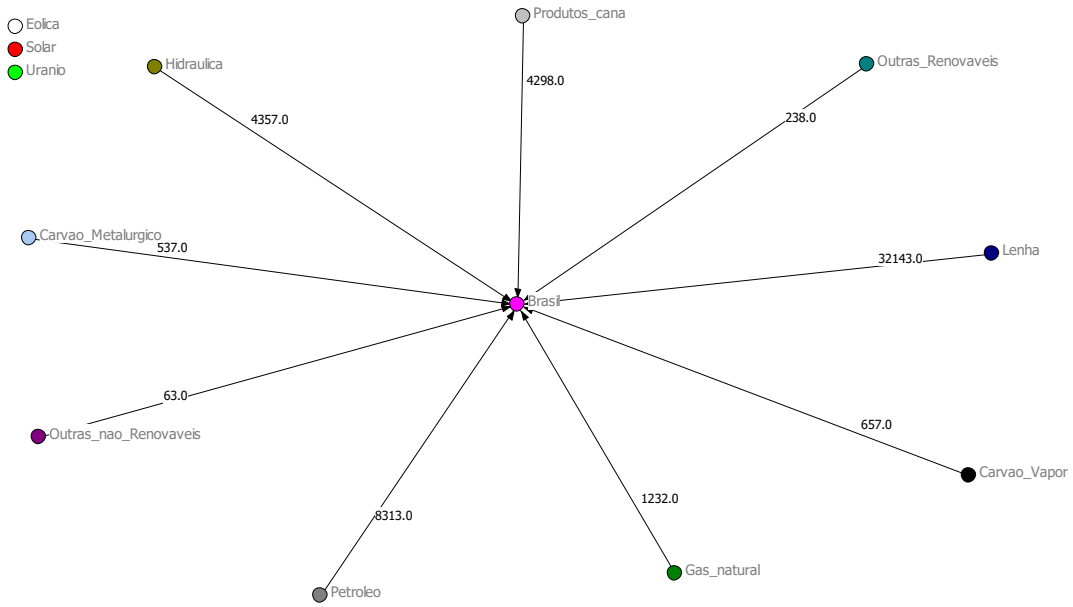
A seguir, as figuras 19 a 66, representam o cenário do comportamento da produção de energia primária no Brasil ao longo do período de 1970 a 2018, bem como as trocas ocorridas entre as principais fontes que colaboraram para a matriz energética nacional ao longo dos anos.

Figura 19 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1971.



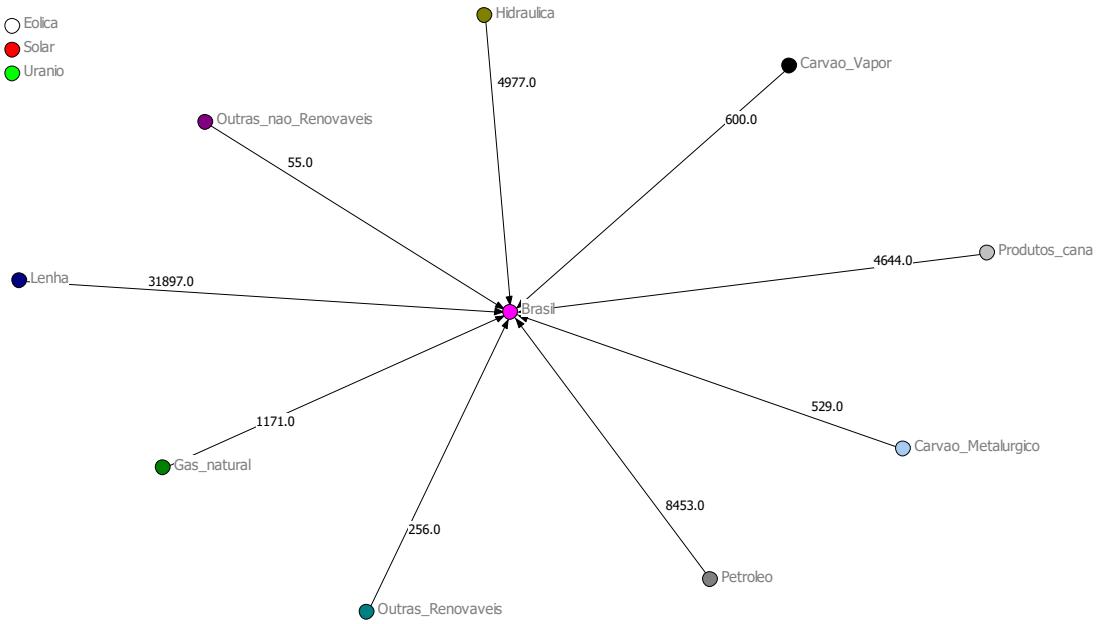
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 20 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1972.



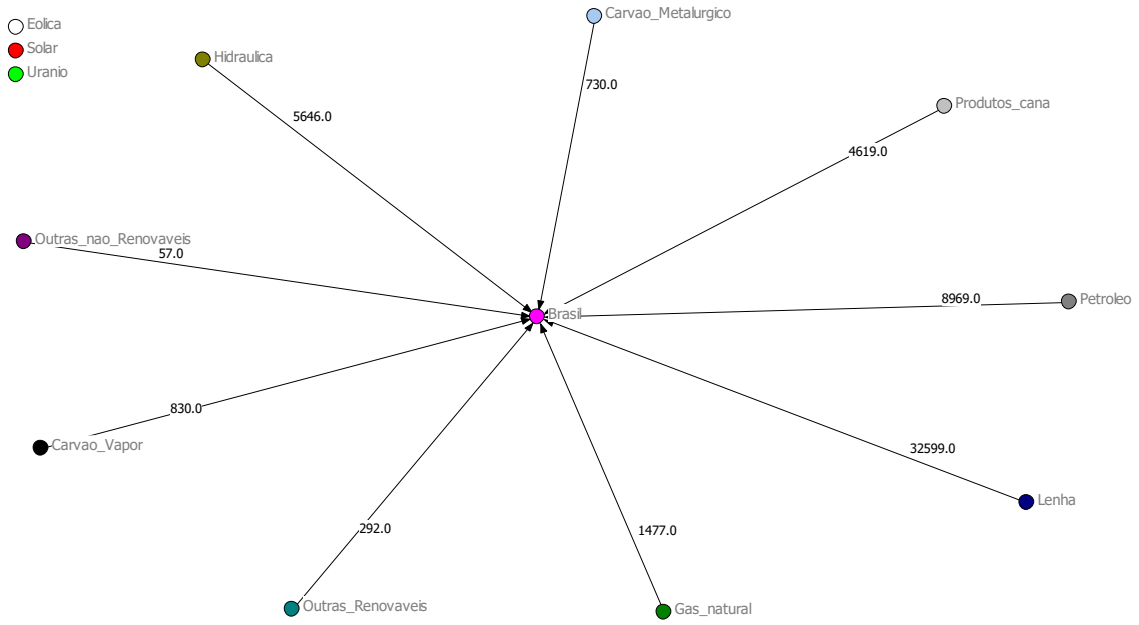
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 21 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1973



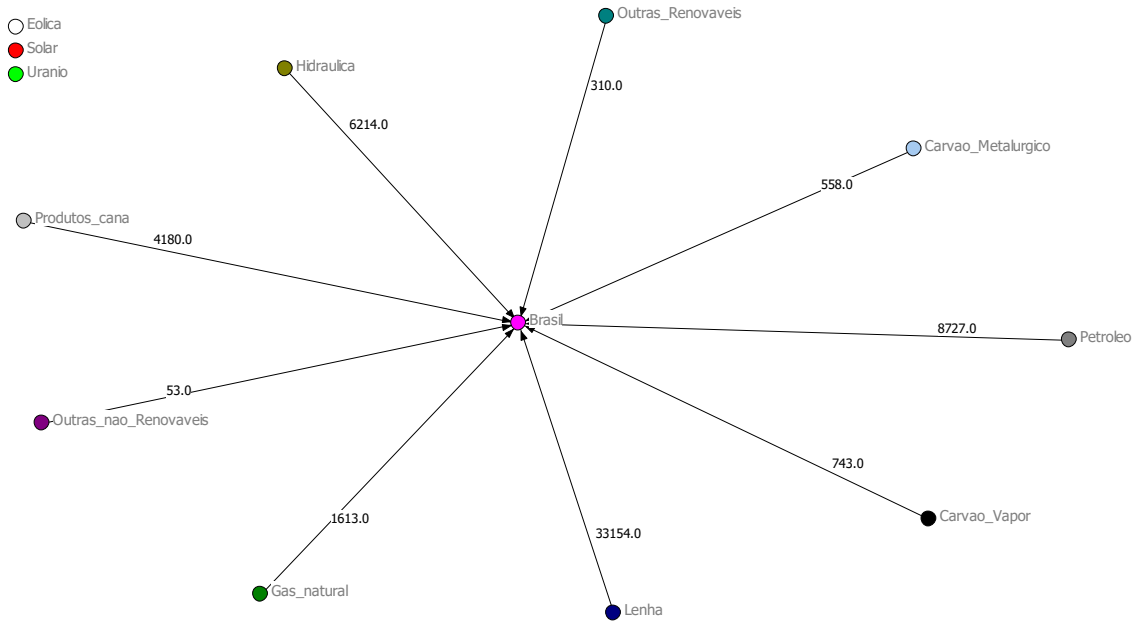
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 22 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1974.



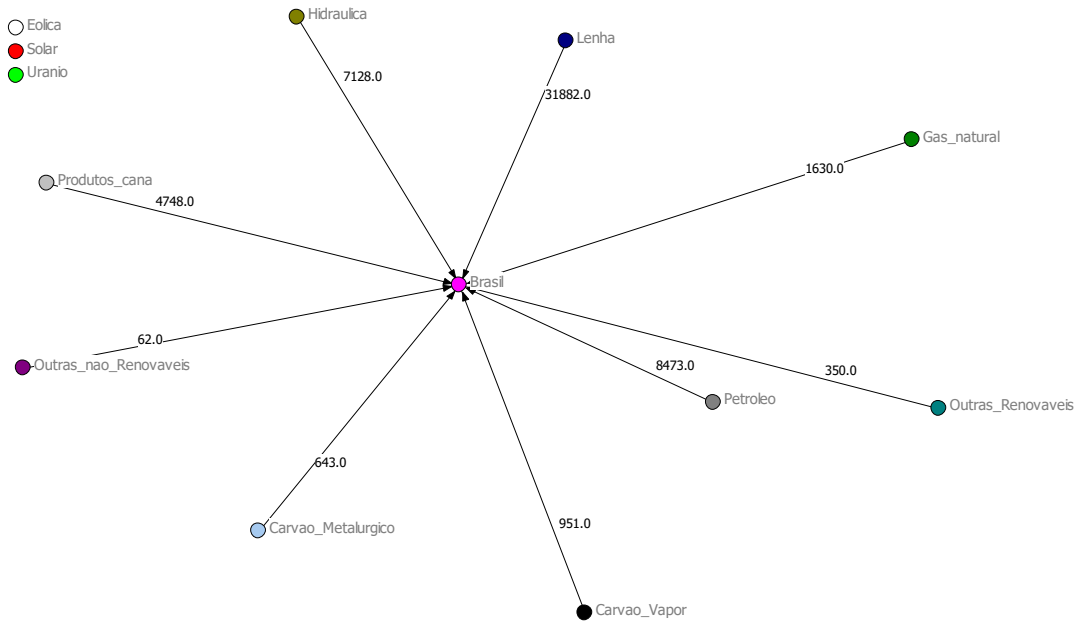
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 23 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1975.



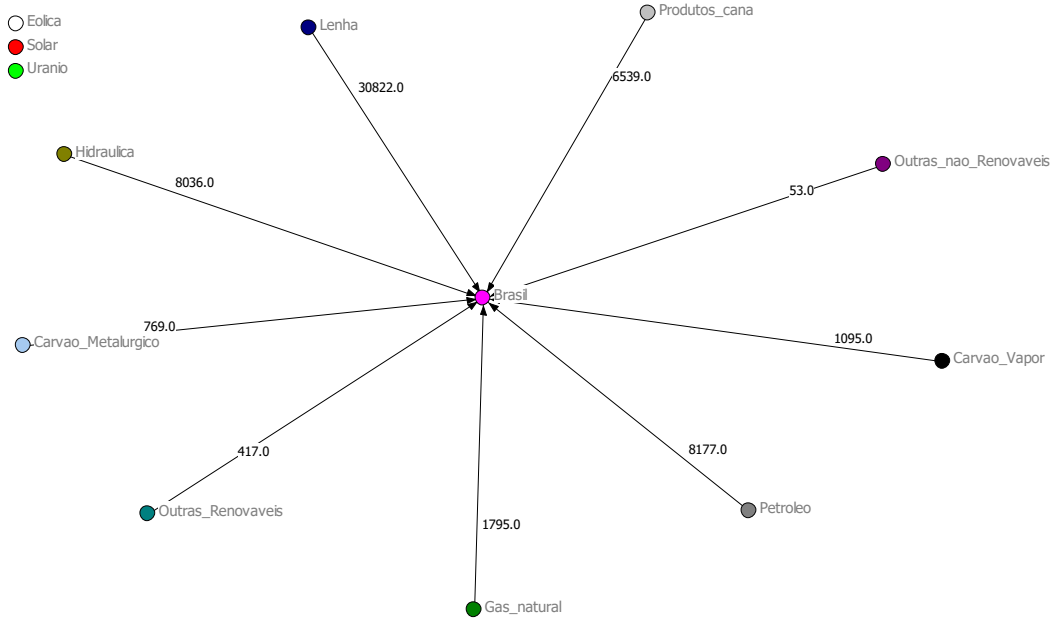
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 24 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1976.



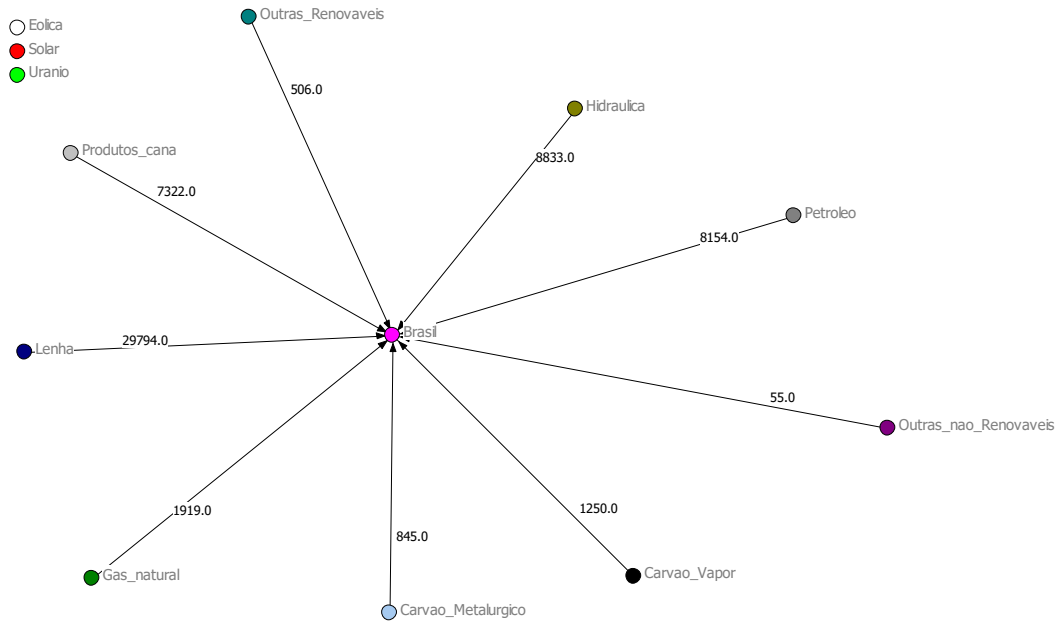
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 25 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1977.



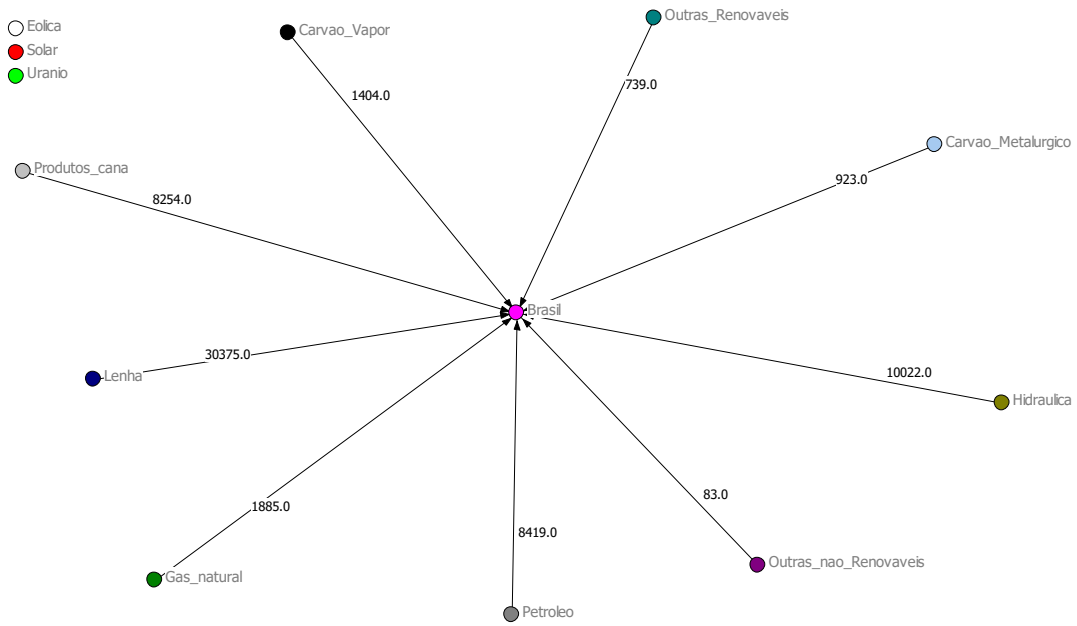
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 26 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1978.



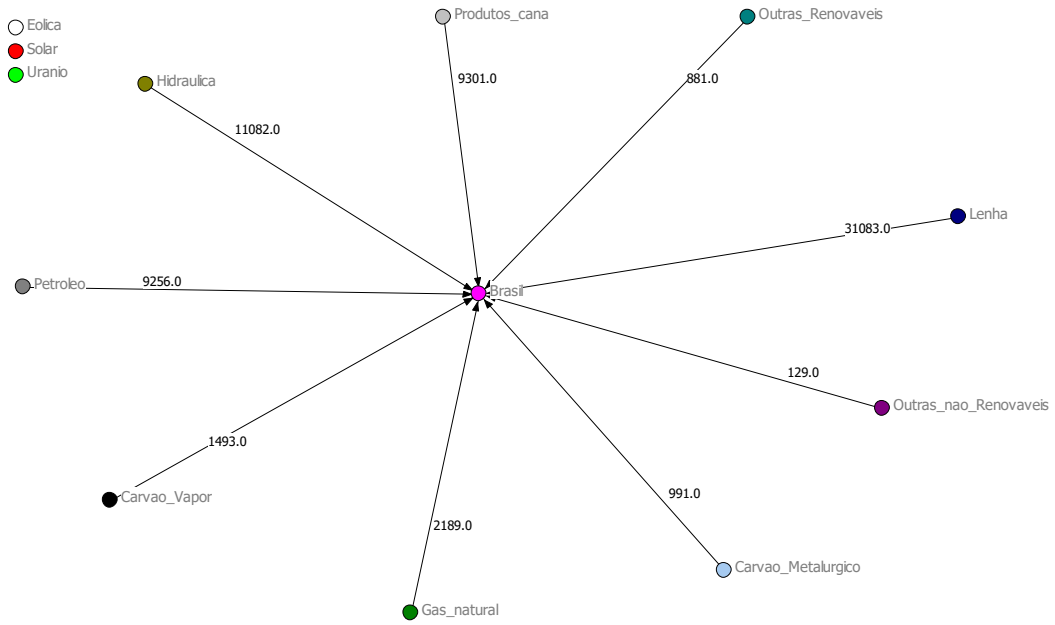
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 27 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1979.



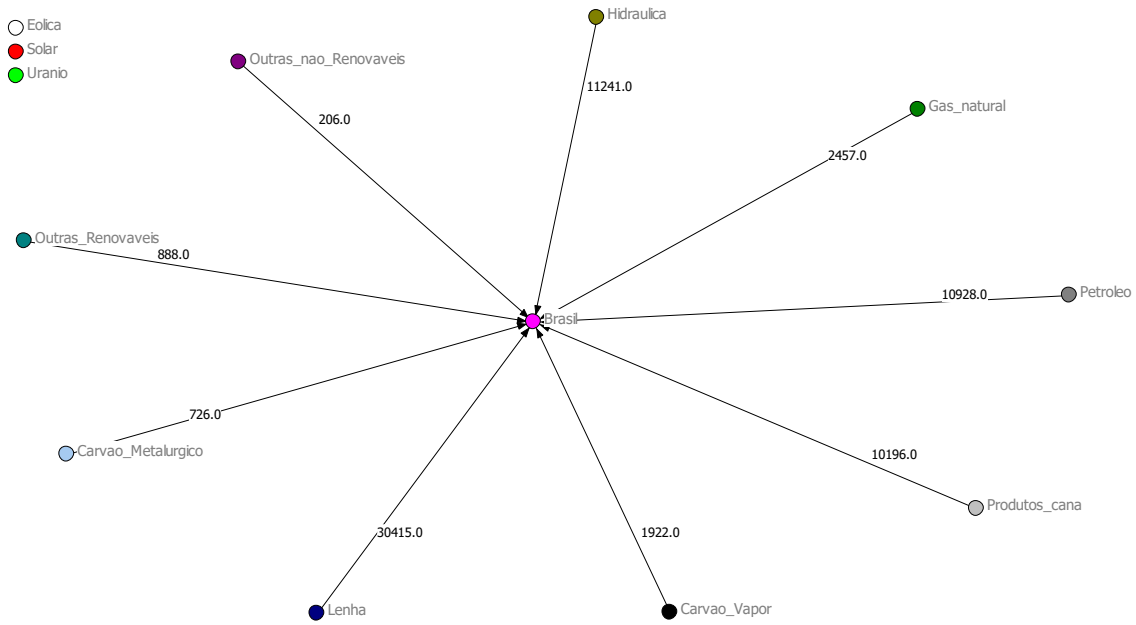
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 28 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1980.



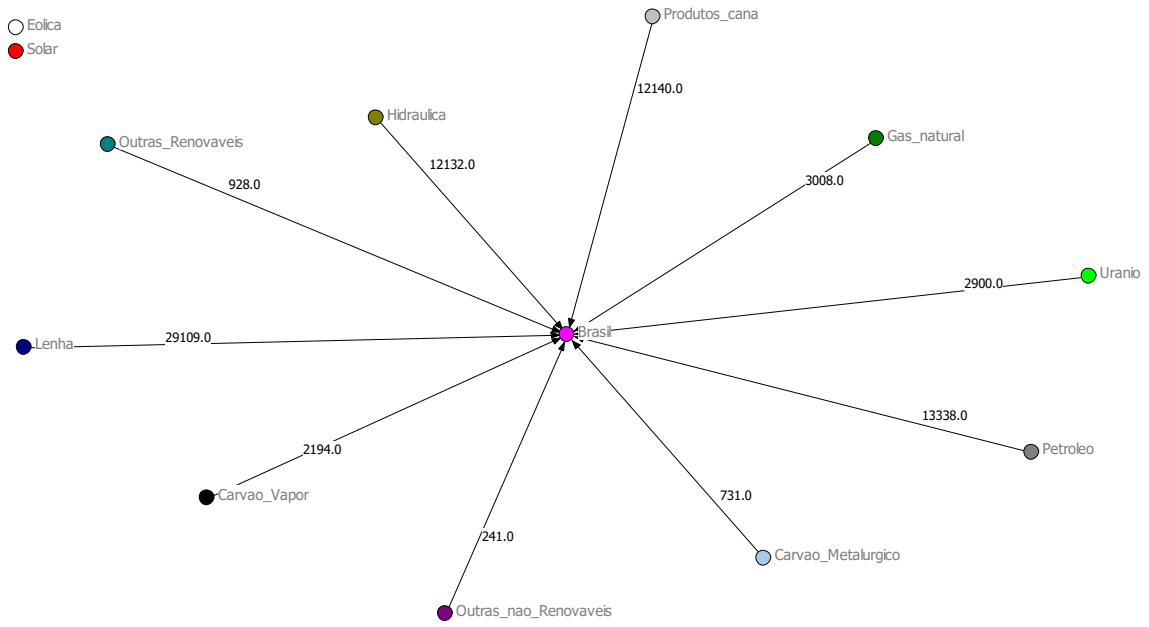
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 29 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1981.



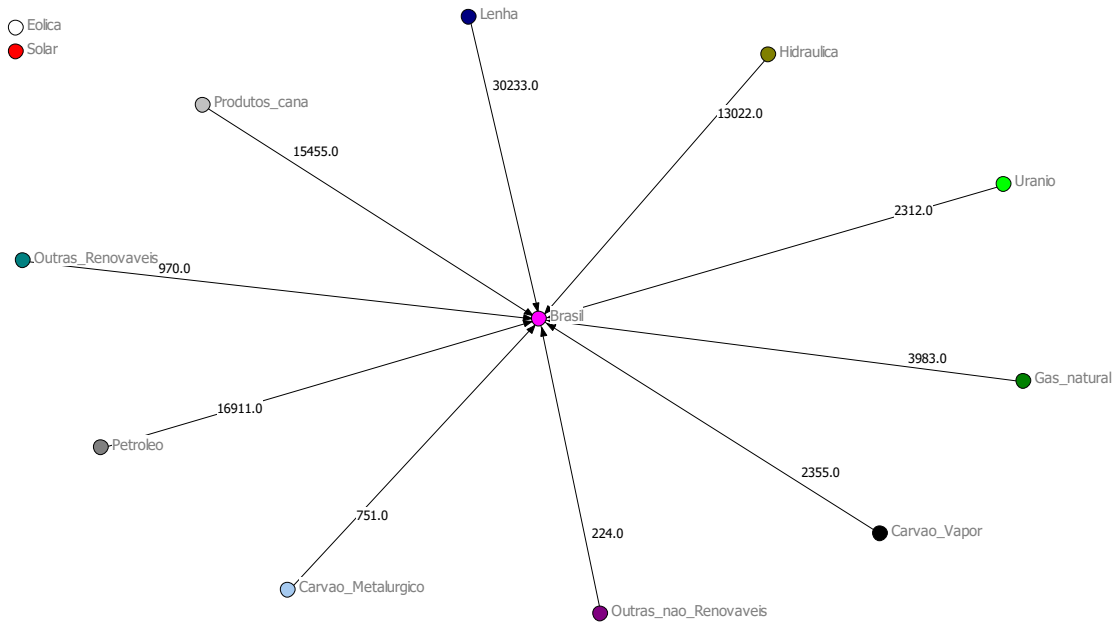
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 30 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1982.



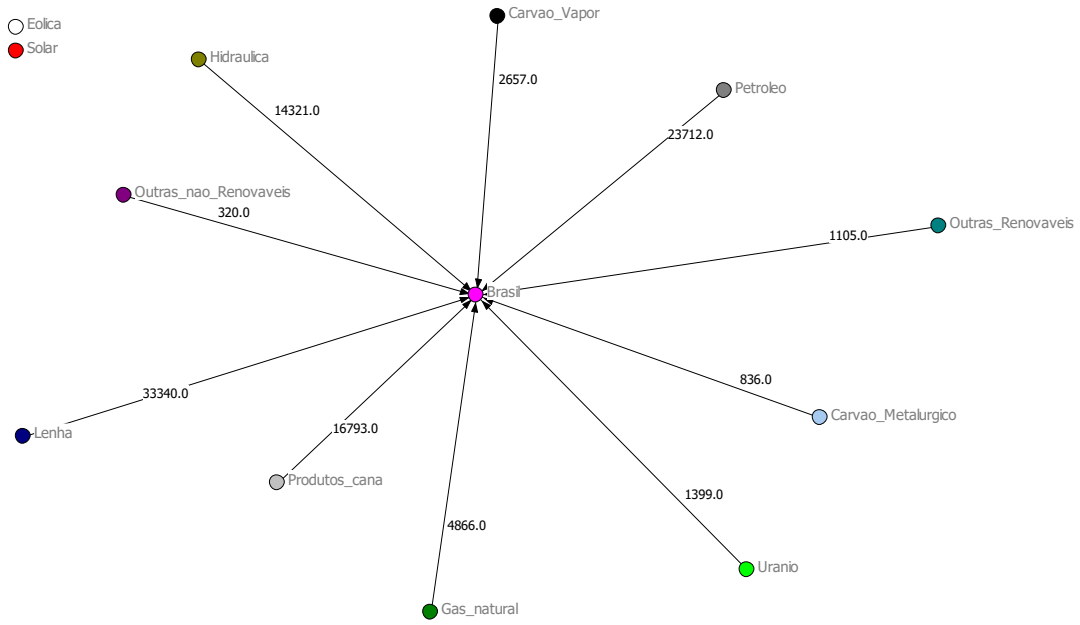
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 31 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1983.



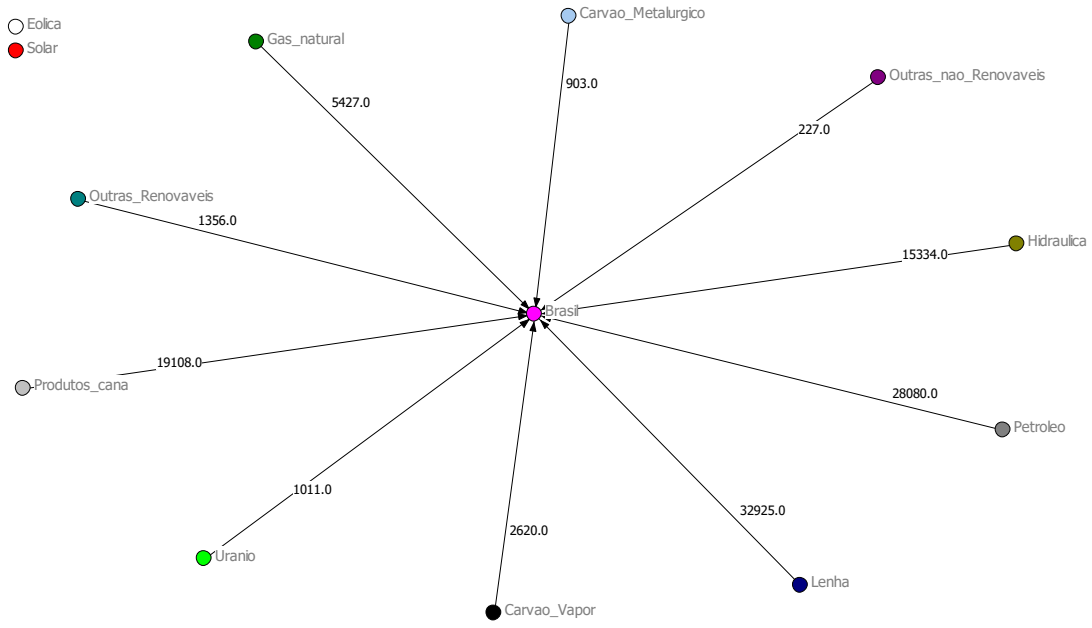
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 32 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1984.



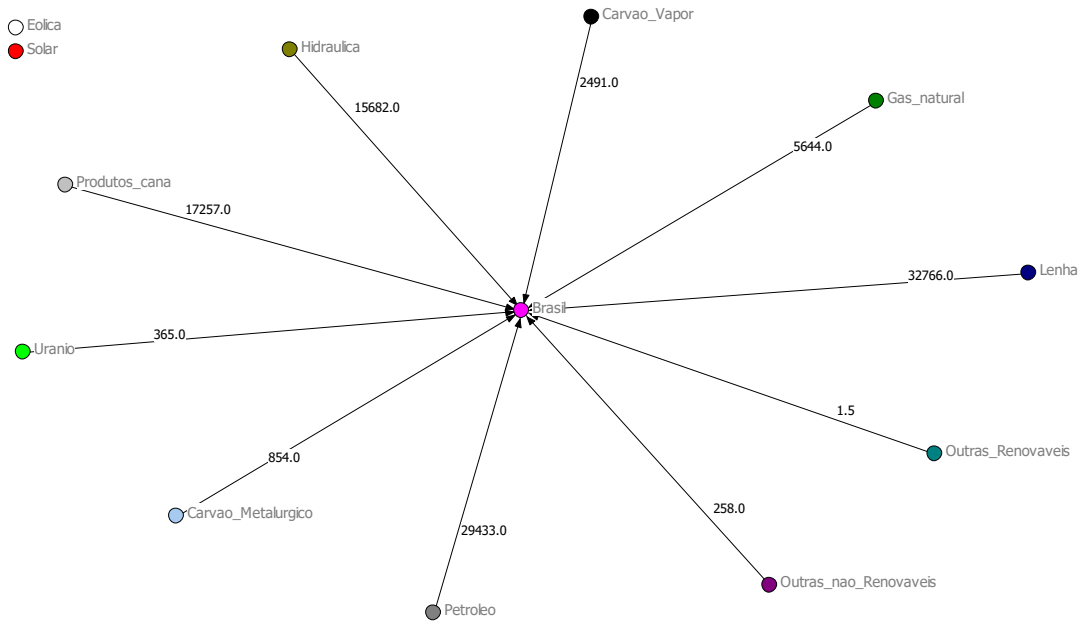
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 33 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1985.



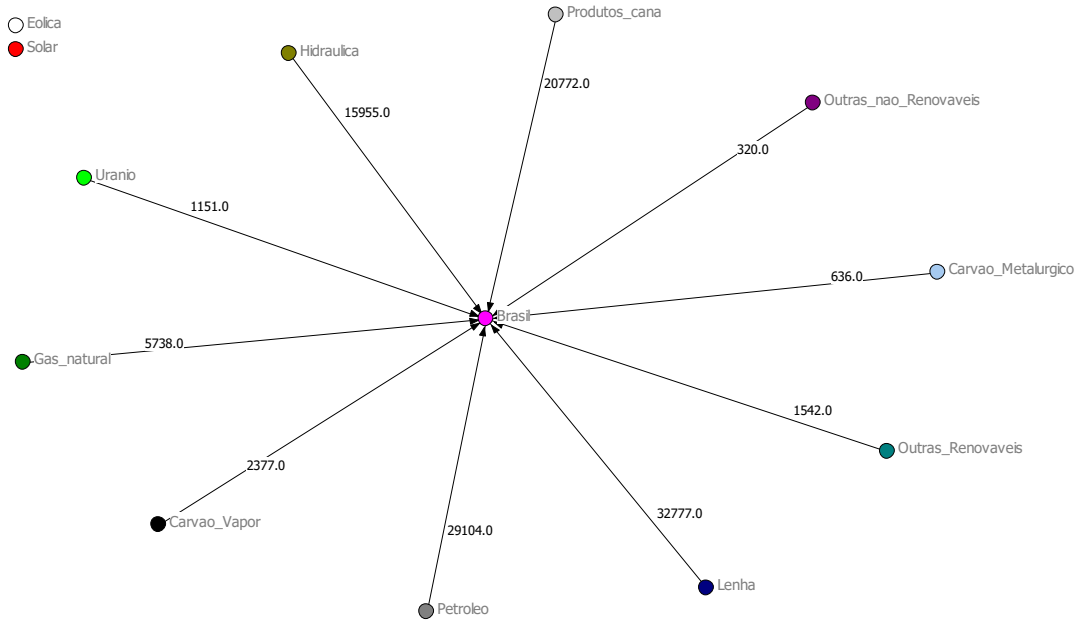
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 34 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1986.



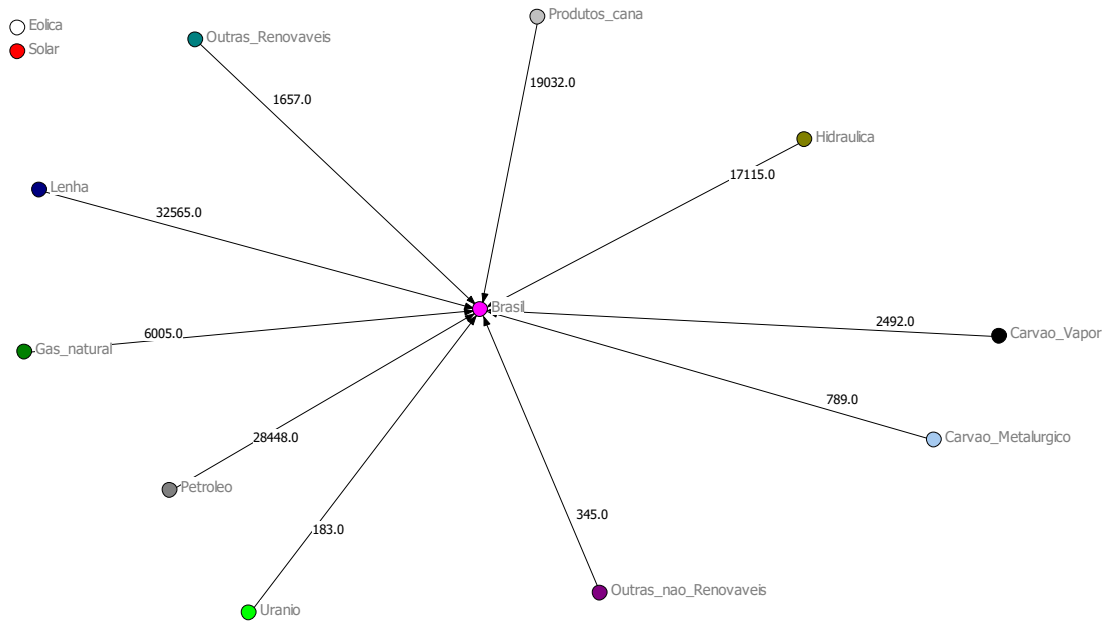
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 35 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1987.



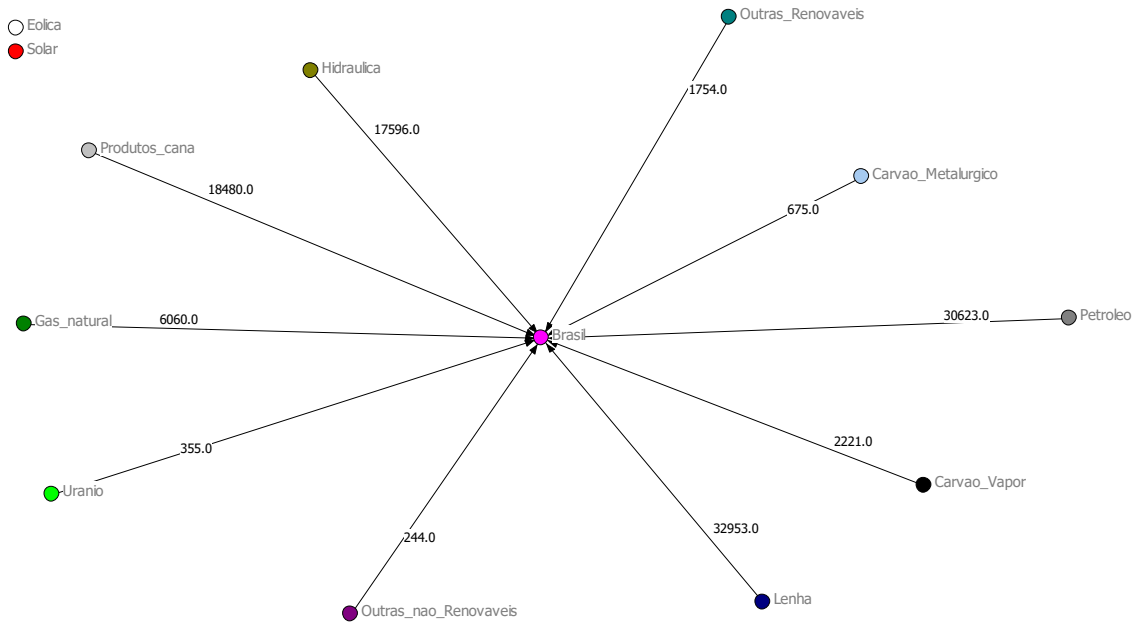
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 36 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1988.



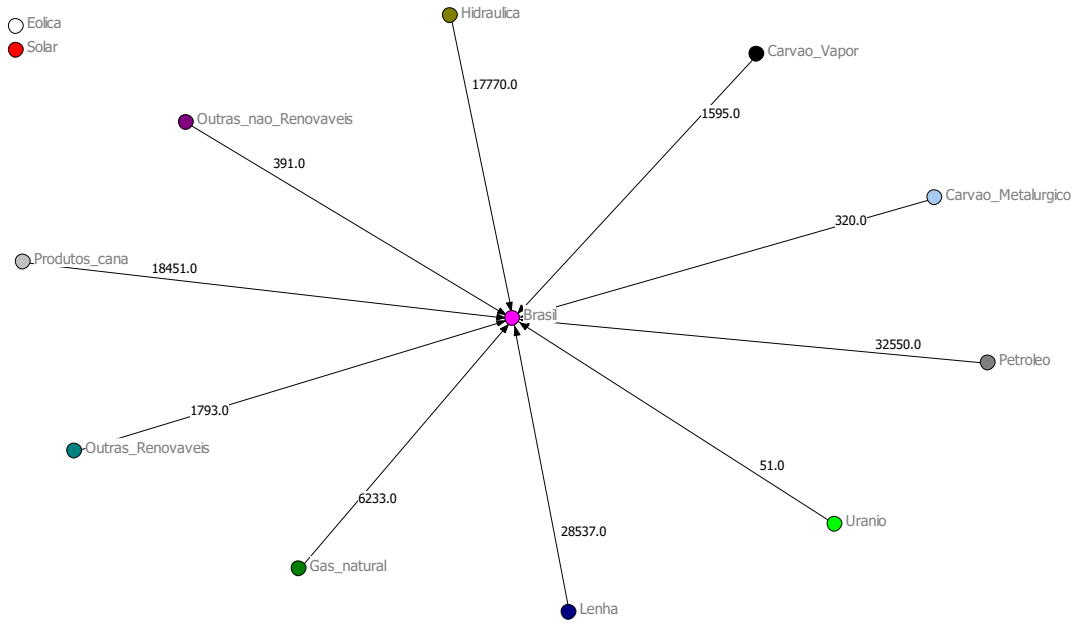
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 37 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1989.



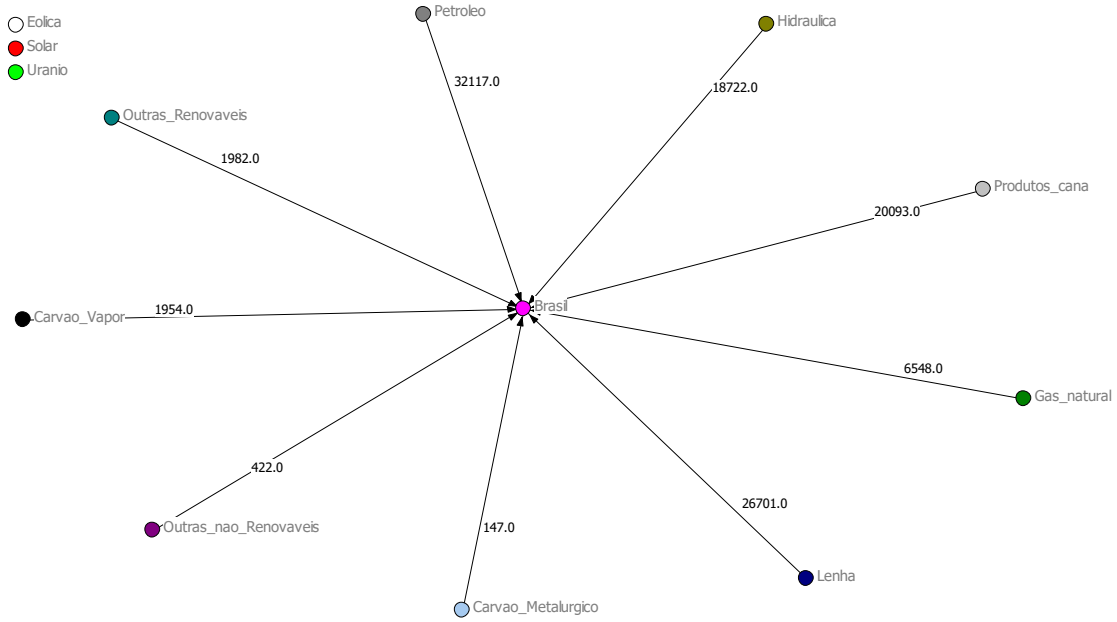
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 38 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1990.



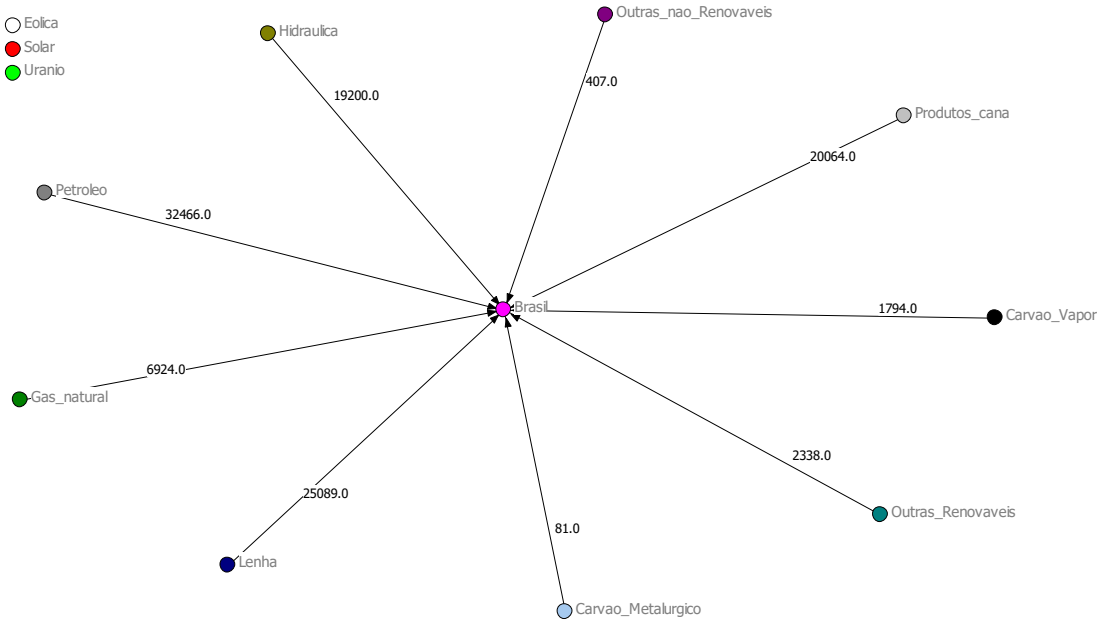
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 39 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1991.



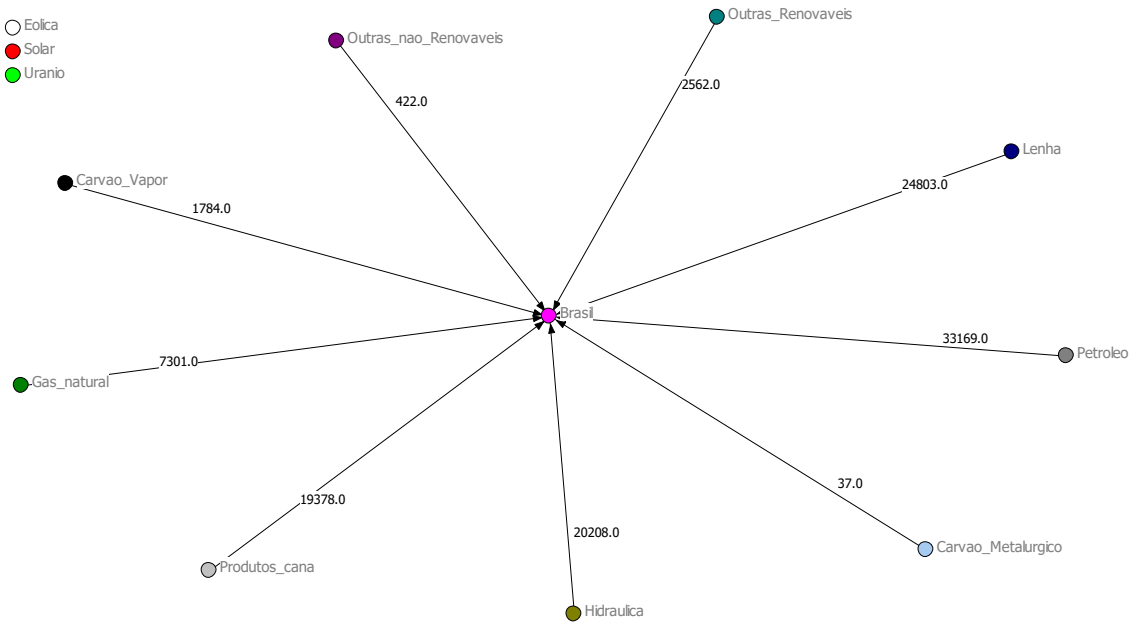
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 40 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1992.



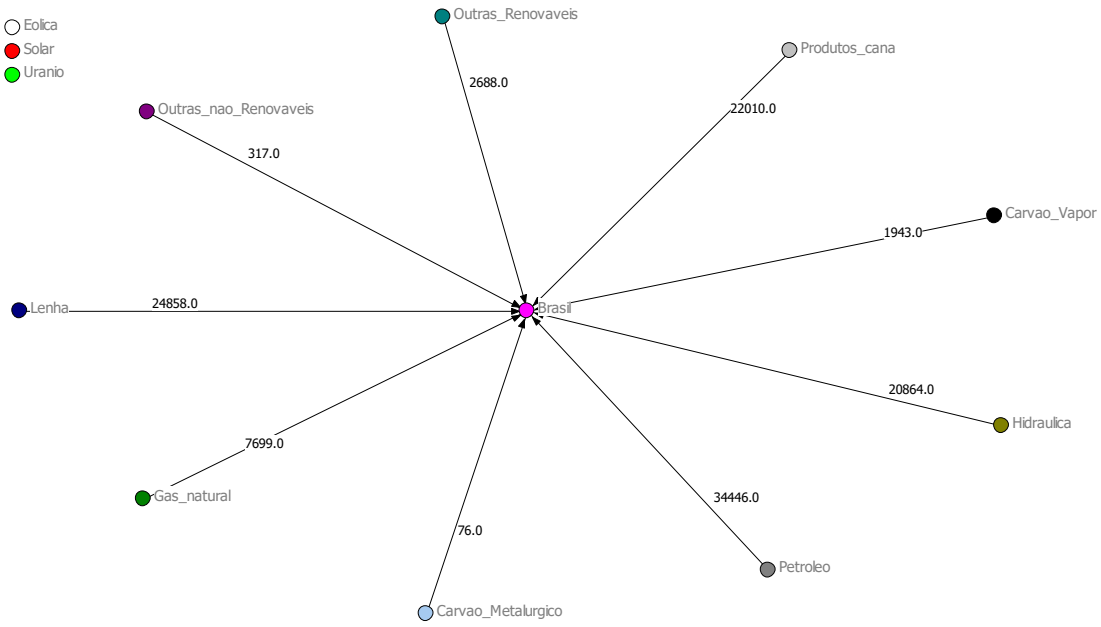
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 41 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1993.



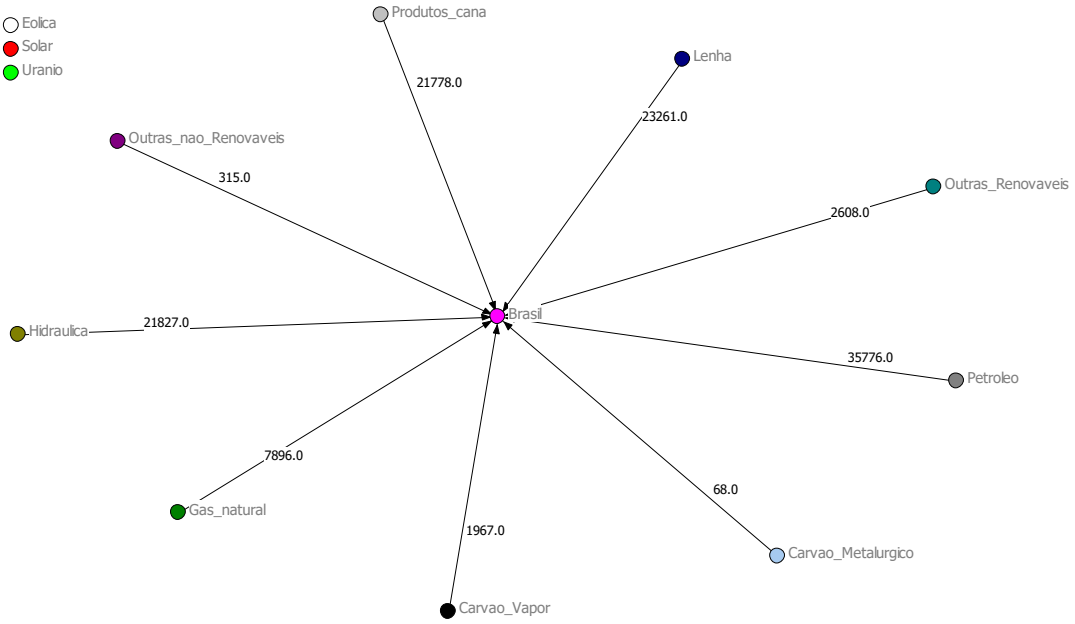
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 42 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1994.



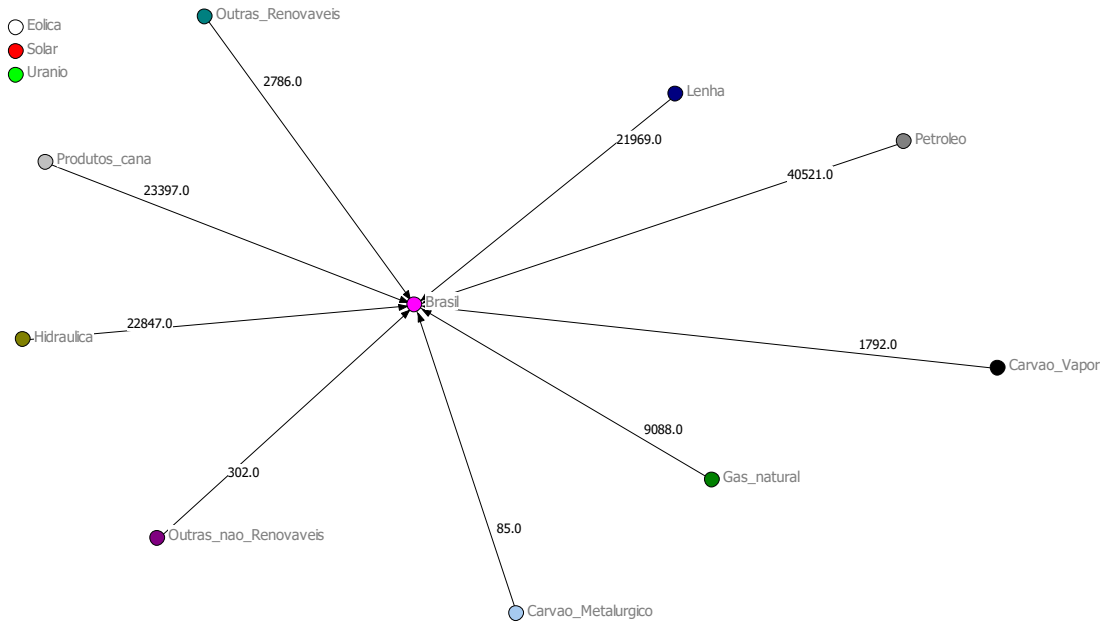
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 43 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1995.



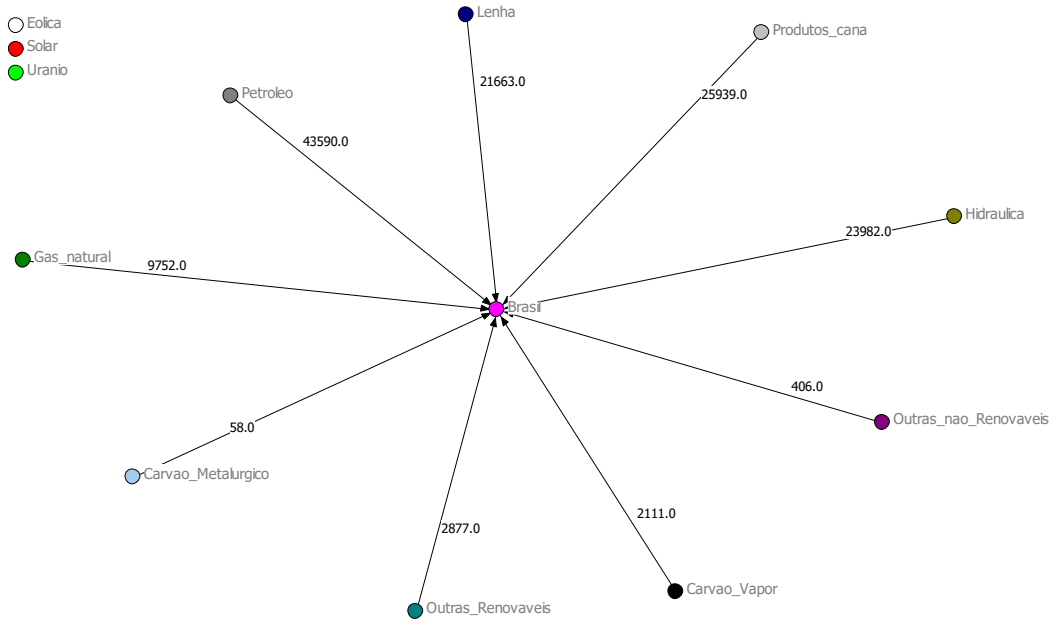
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 44 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1996.



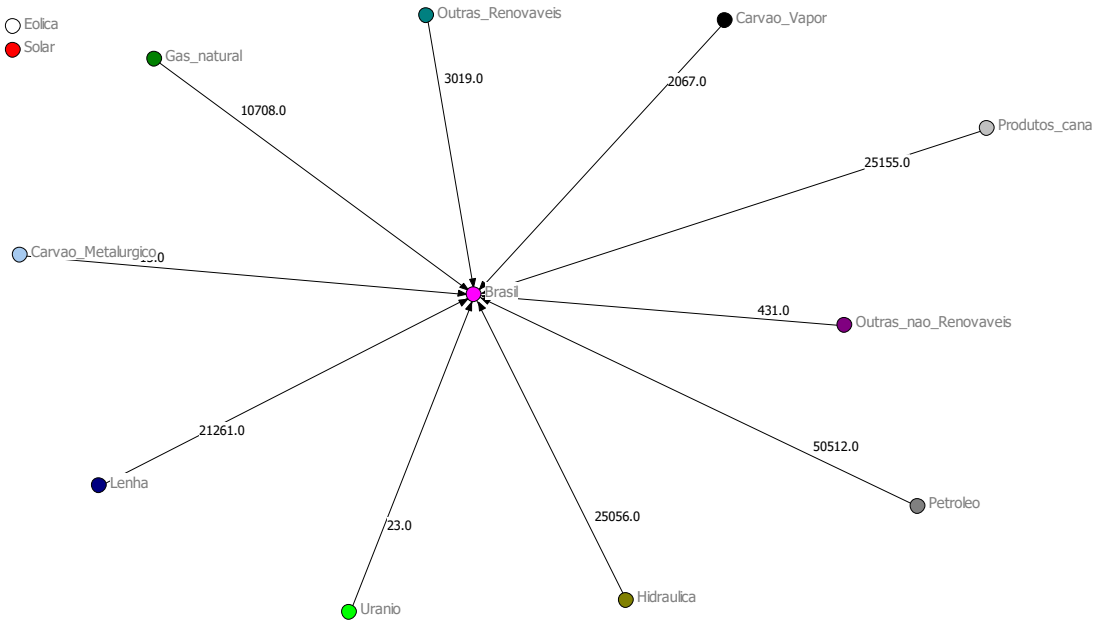
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 45 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1997.



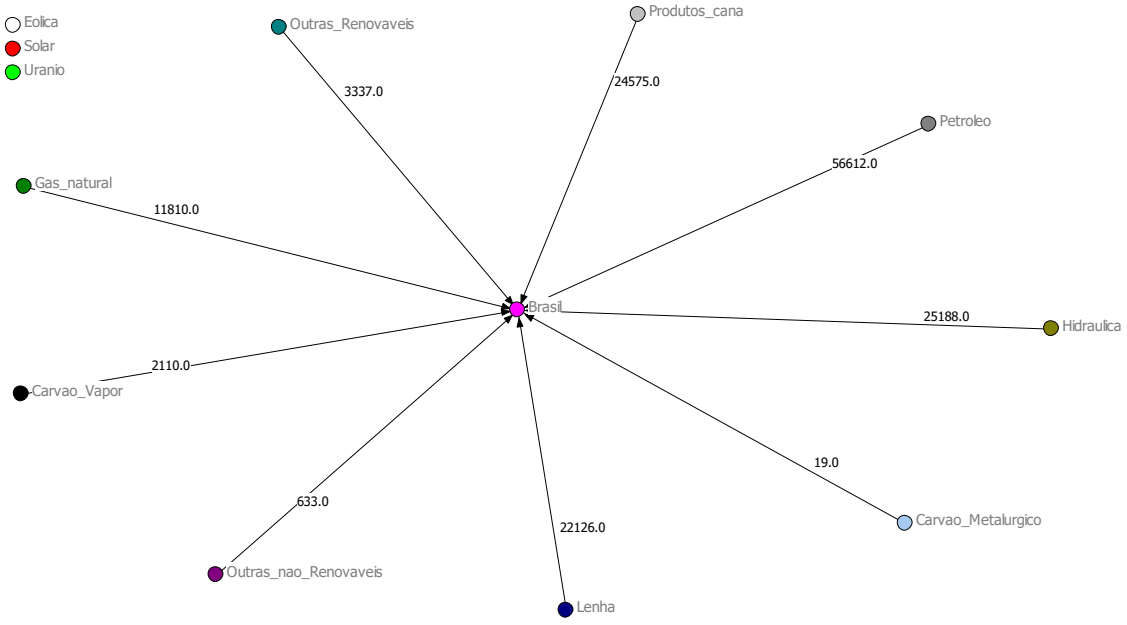
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 46 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1998.



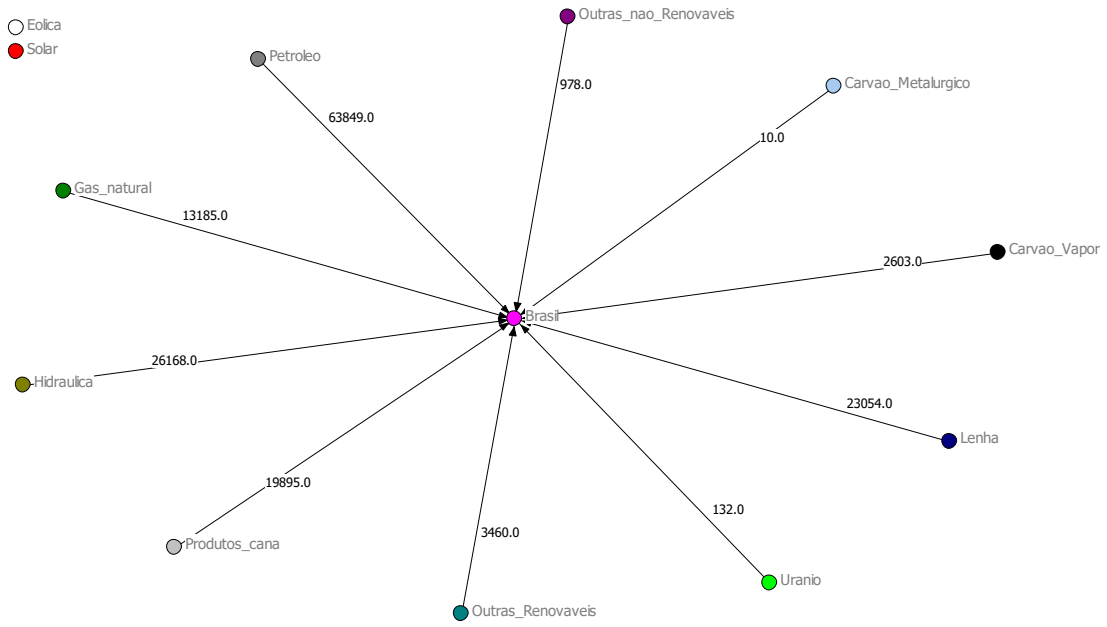
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 47 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 1999.



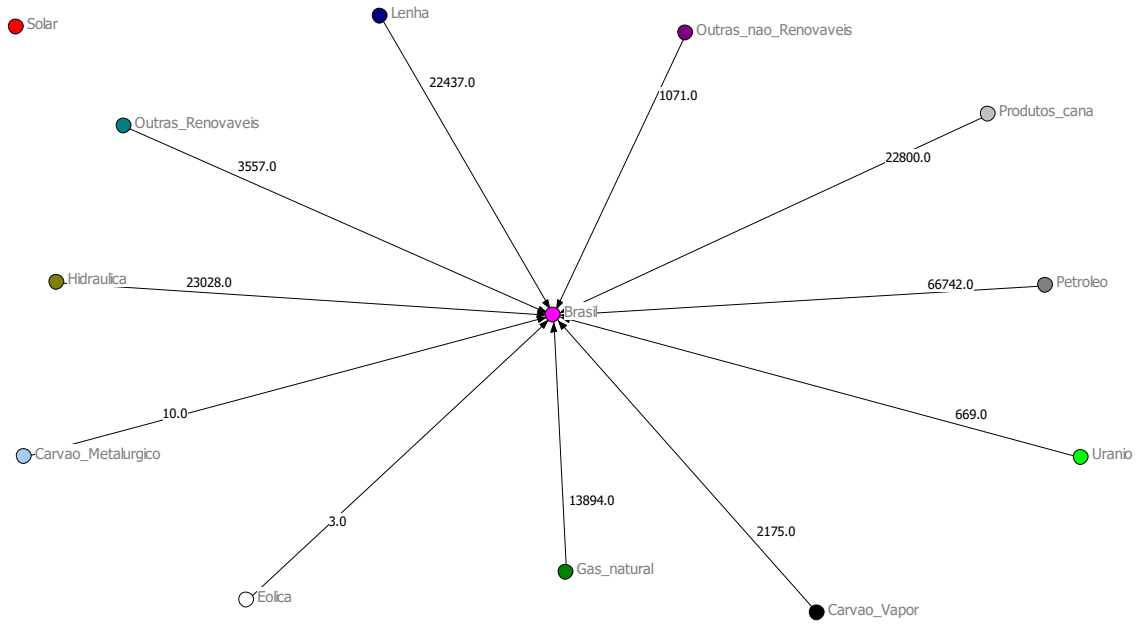
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 48 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2000.



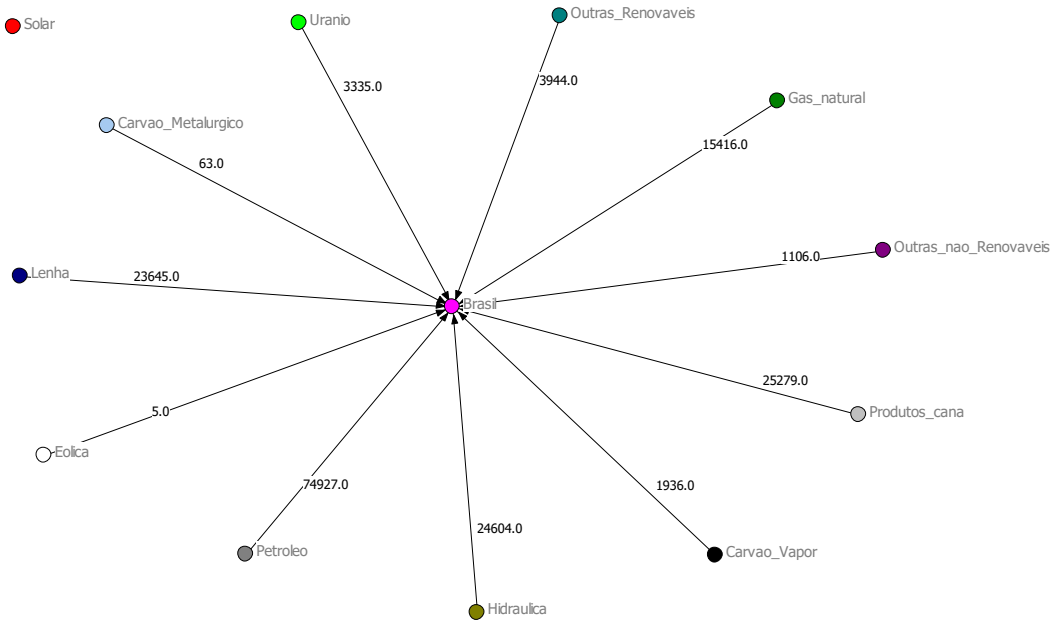
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 49 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2001.



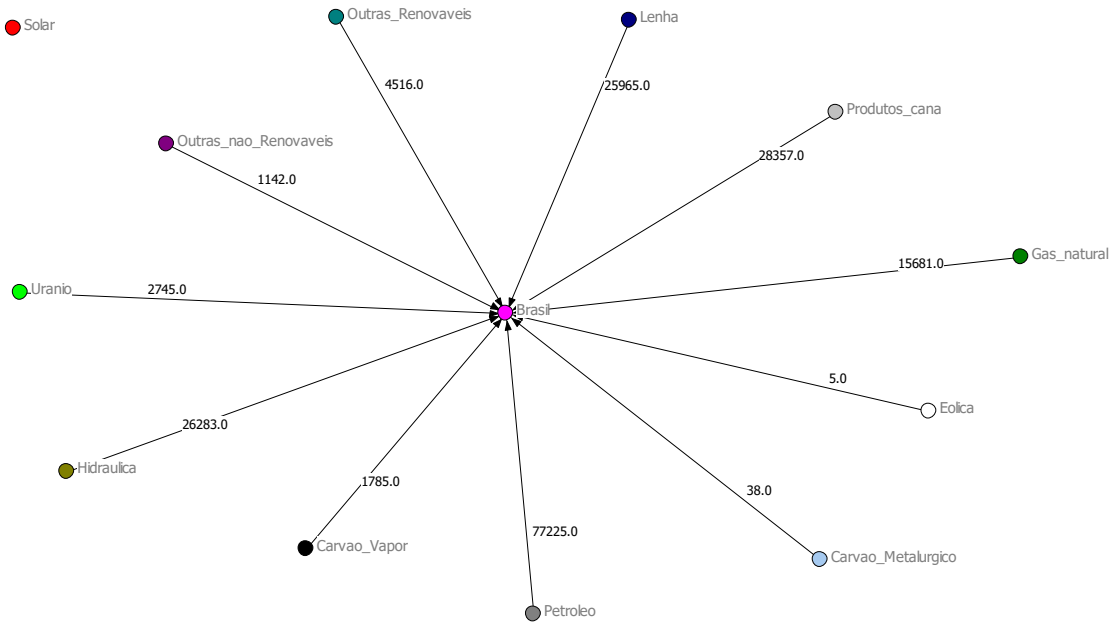
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 50 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2002.



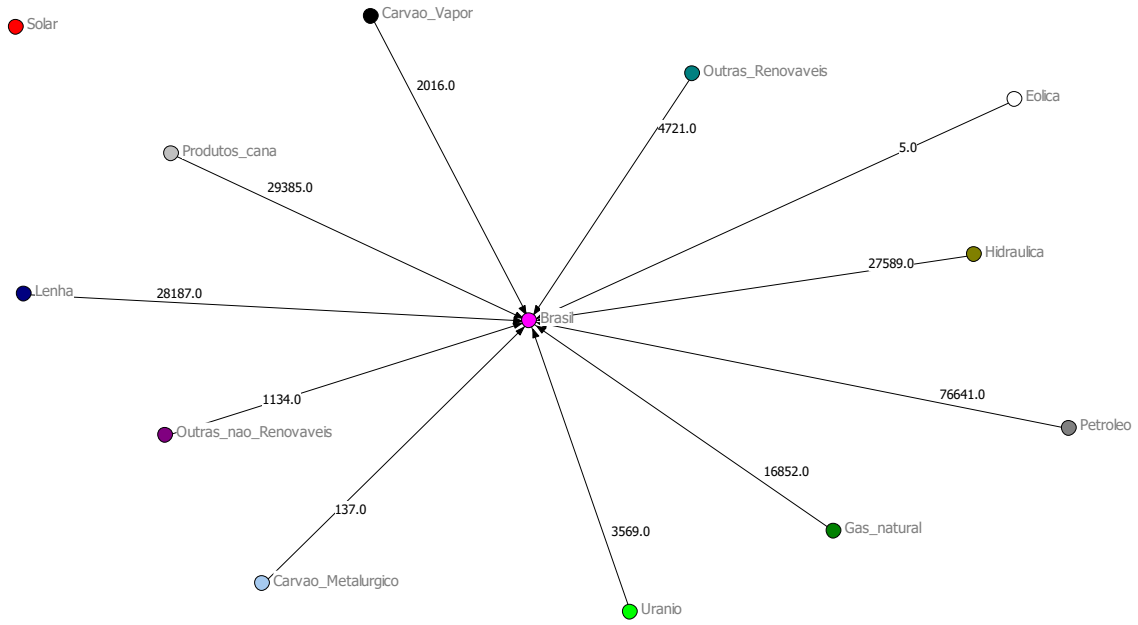
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019)

Figura 51 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2003.



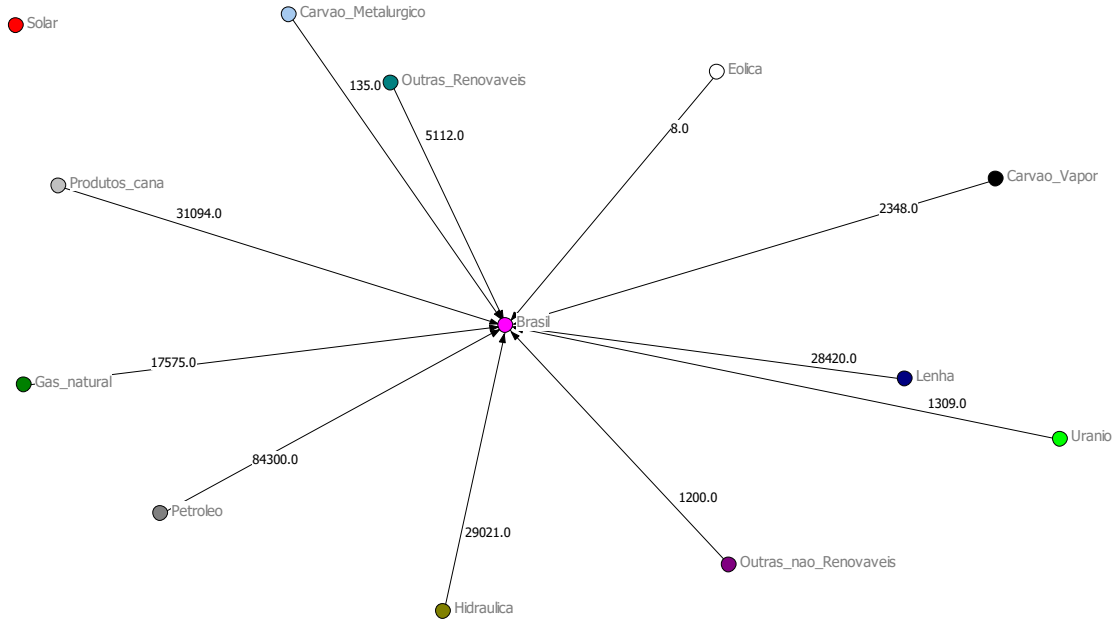
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 52 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2004.



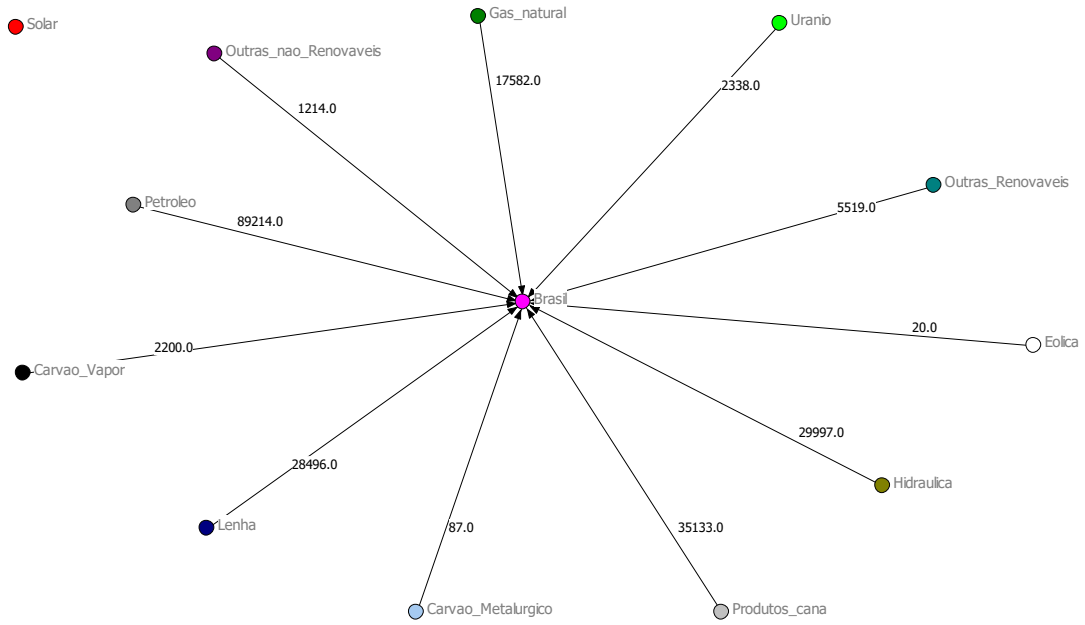
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 53 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2005.



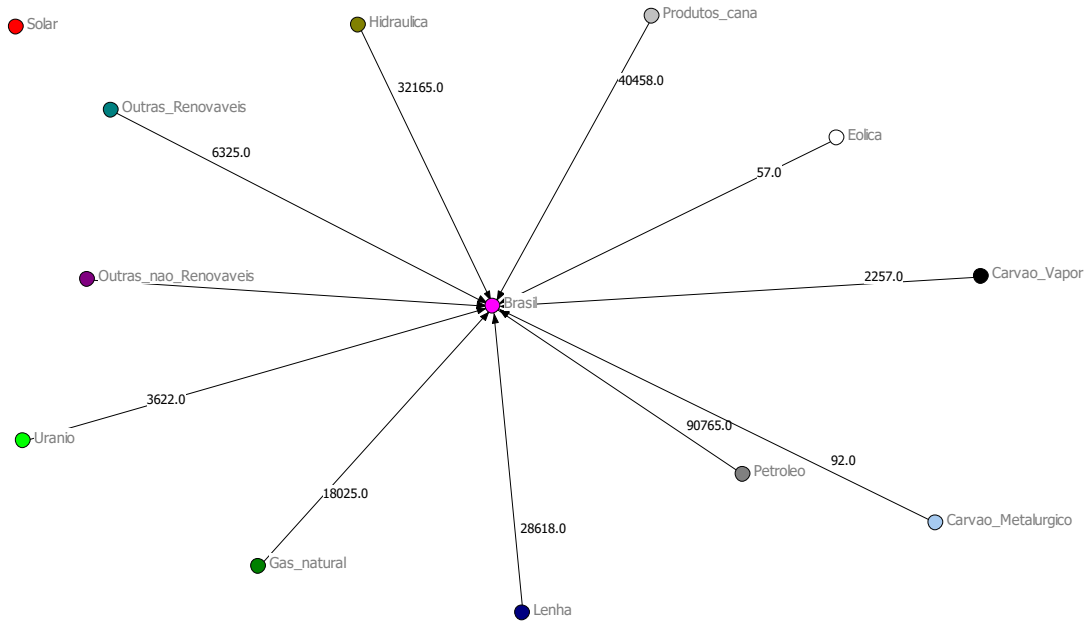
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 54 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2006.



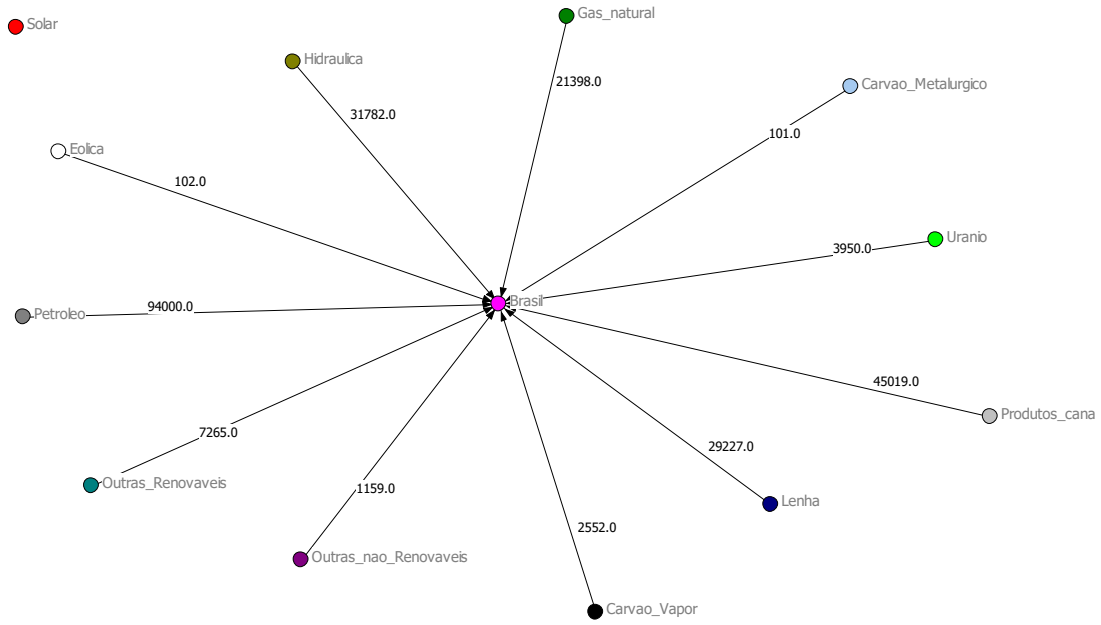
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 55 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2007.



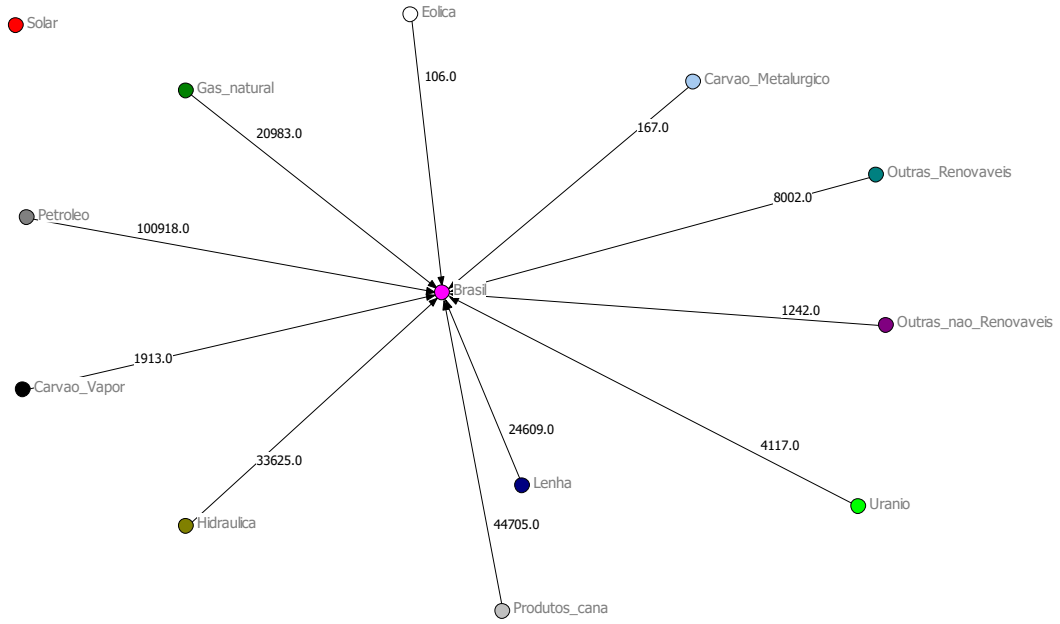
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 56 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2008.



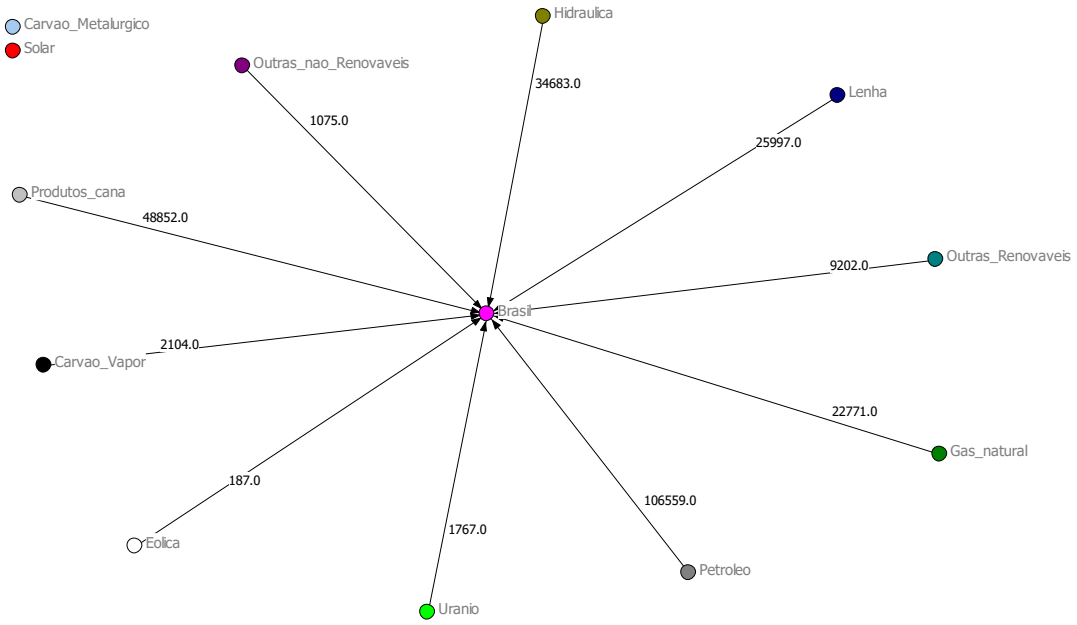
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 57 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2009.



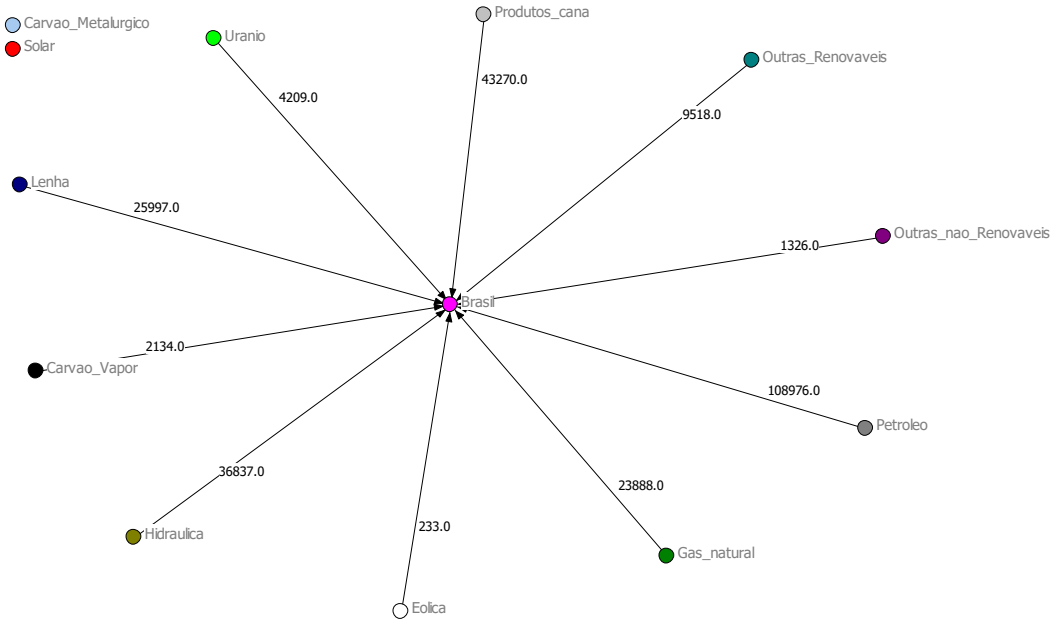
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 58 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2010.



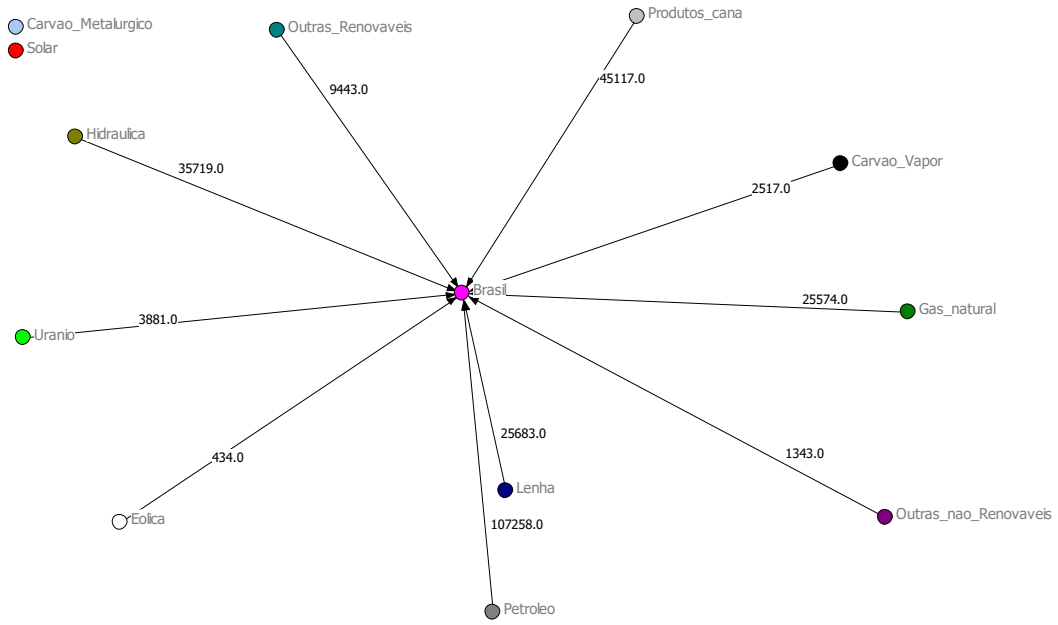
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 59 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2011.



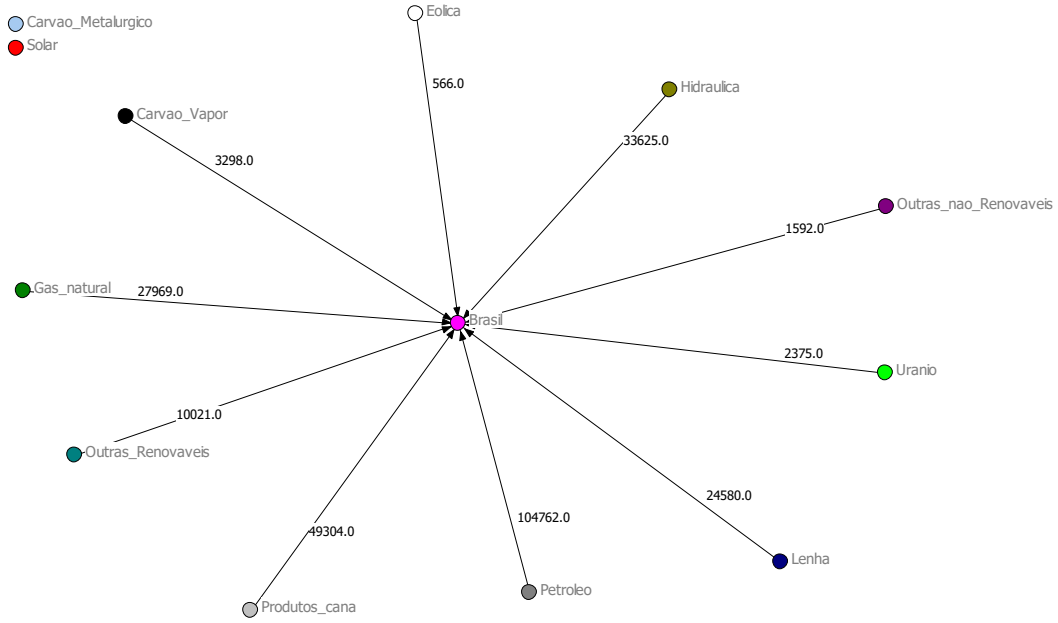
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 60 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2012.



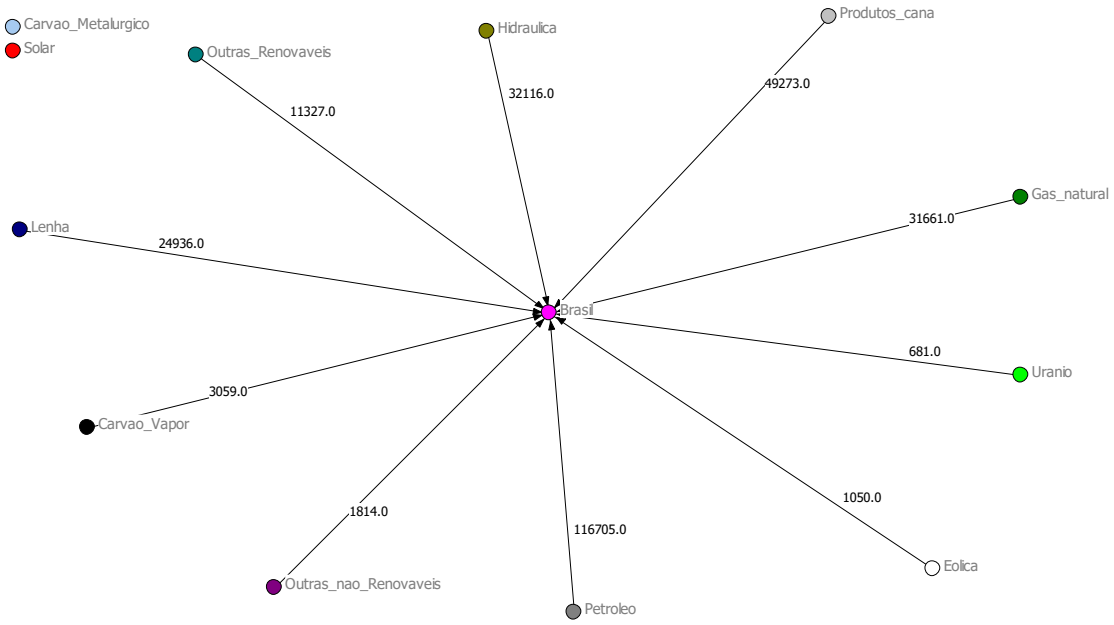
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 61 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2013.



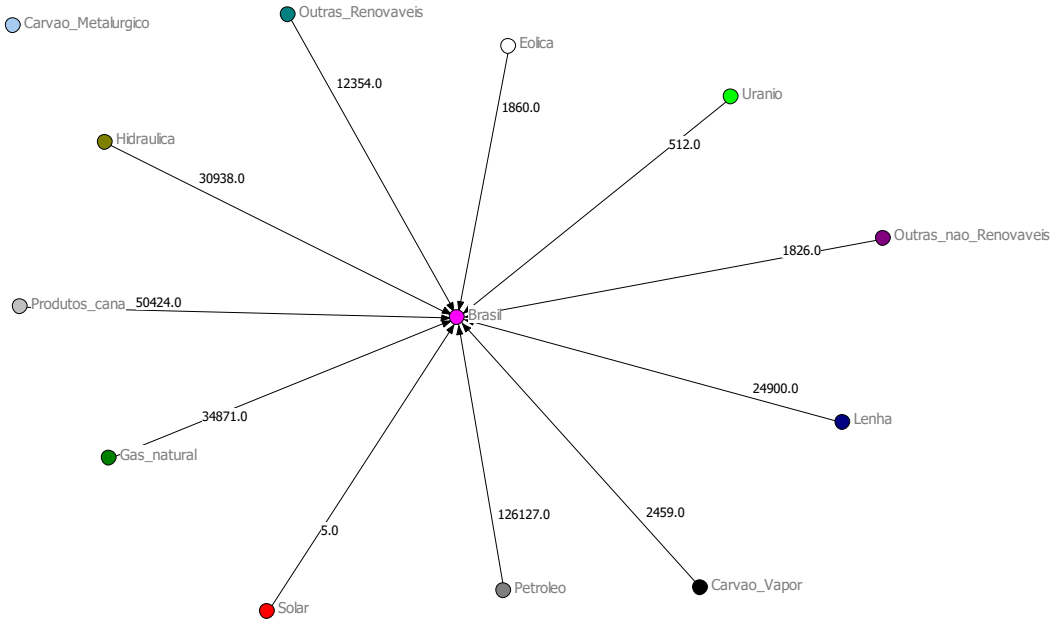
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 62 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2014.



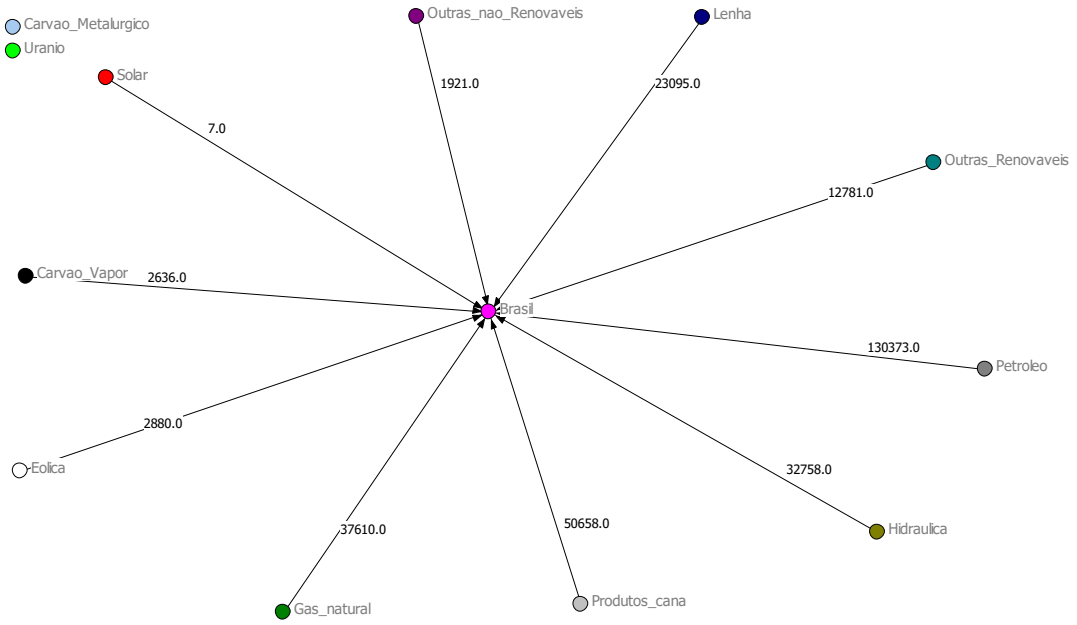
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 63 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2015.



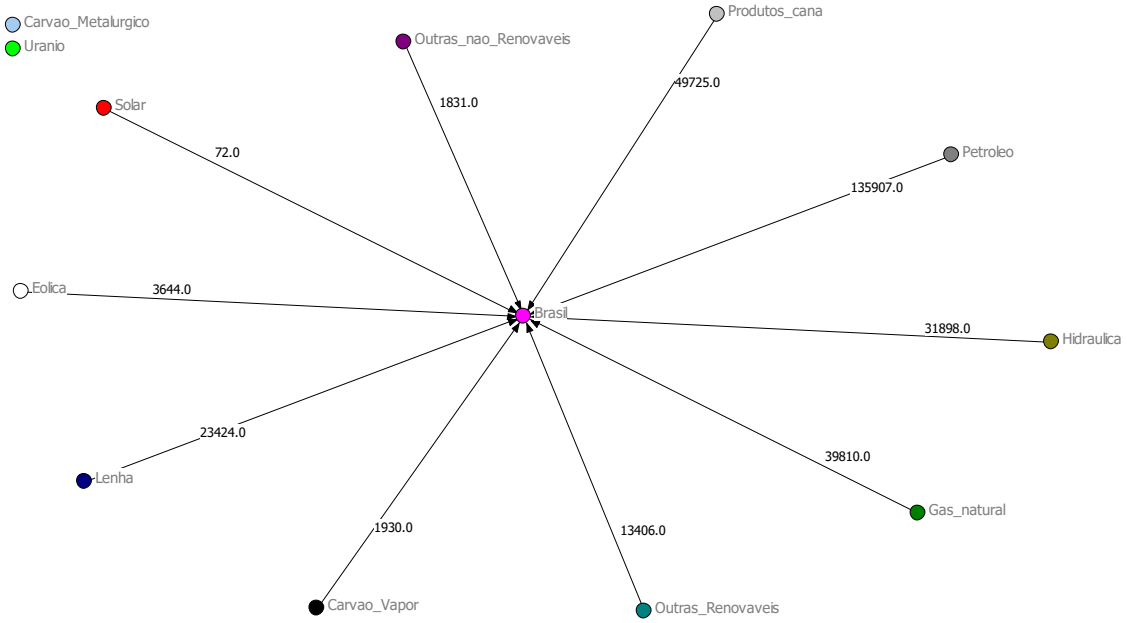
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 64 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2016.



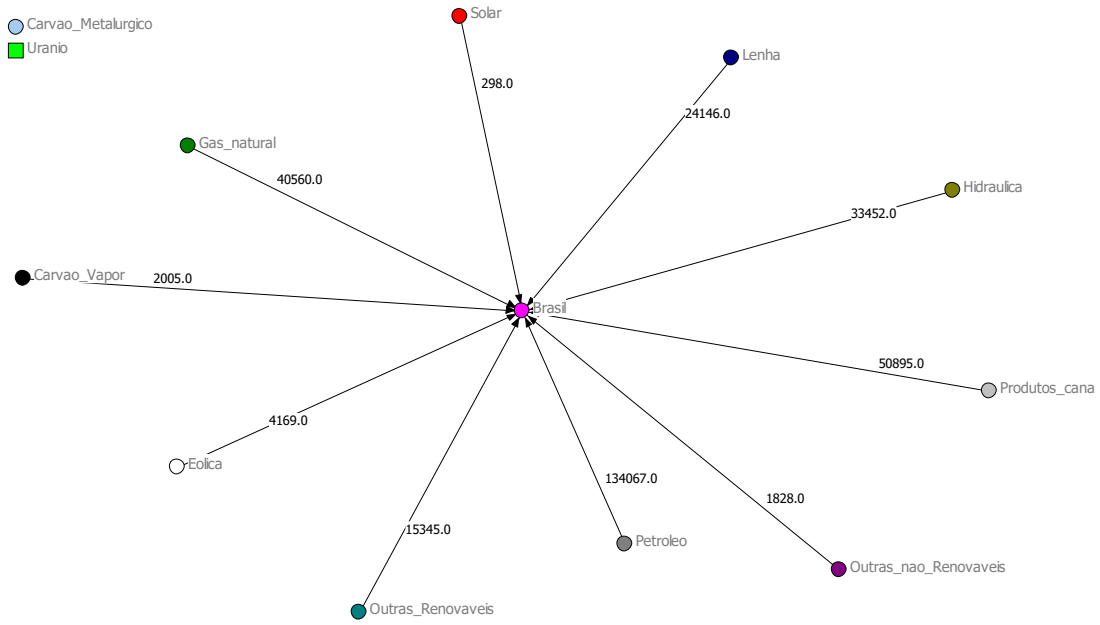
Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 65 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2017.



Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).

Figura 66 - Imagem do grafo obtido do arquivo de resposta obtido do processamento para o VNA para o ano de 2018.



Fonte: Elaborado pela autora por meio do *Software Ucinet* (2019).