

O GÁS NATURAL COMO TRANSIÇÃO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA

**Denis Carlos Lima Costa¹, Jaiza de Souza Soares²,
Patrícia Raquel do Nascimento Batista³, Jhonathan Alexandre Furtado Meninea Serra⁴,
Adriane Cristina Fernandes Reis⁵, Fernando José Aguirre Ramos da Silva⁶**

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(denis.costa@ifpa.edu.br)

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(jaiza.soares@ifpa.edu.br)

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(patricia.batista@ifpa.edu.br)

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(jhonathan.serra@ifpa.edu.br)

⁵ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(adriane.fr22@gmail.com)

⁶ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Brasil
(aguirrefernando.ifpa@gmail.com)

Resumo: O Dióxido de Carbono - CO₂, é o principal causador do aquecimento global, respondendo por 75% das emissões de gases de efeito estufa antropogênicas. A substituição dos atuais combustíveis fósseis por componentes ecologicamente corretos, que provoquem a redução do CO₂, é uma das premissas desse trabalho. A utilização do gás natural como combustível à geração termoeletrica é apresentada como uma forma segura e estável ao sistema elétrico, até haja a substituição por modelos sustentáveis.

Palavras-chave: Sistema elétrico; Redução de poluentes; Modelagem Matemática-Computacional; Equações Diferenciais.

INTRODUÇÃO

Com o princípio da industrialização, a partir da década de 1850 até os dias atuais, as difusões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) provocadas, principalmente, pela execução humana, conduziram a uma visível alteração climática: em outras palavras, ocasionaram a um aquecimento global com uma adição expressiva da temperatura média da superfície do nosso planeta, causada pelo acréscimo de GEE na atmosfera.

Os gases de efeito estufa não são apenas CO₂; também existem CH₄, N₂O, CFC, SF₆. Esses GEE transformam em Potencial de Aquecimento Global e tempo de vida na atmosfera. Muito deles, é importante afirmar, também são disseminados por sistemas da natureza. Todavia, a maior parte dessas emissões de GEE são emissões antrópicas, causadas por atividades humanas, como por exemplo, as atividades industriais, a agricultura, o transporte ou a produção de energia com combustíveis fósseis. Costa et al (2016), avaliam adotar um sistema de captação de energia aplicando as

restrições é a integração segura entre os sistemas elétricos e o ecossistema, reduzindo, sistematicamente o lançamento de GEE.

Na atmosfera do Planeta Terra já existem os gases de efeito estufa (GEE). Eles têm a função de absorver e refletir a radiação infravermelha na atmosfera. Esse efeito estufa mantém a temperatura média da superfície da Terra em um nível estável, quanto maior a concentração de GEE, maior a média temperatura da superfície da Terra (Nelles e Serrer, 2021).

Como há uma grande variedade de tecnologias de geração elétrica, deve-se avaliar se essas tecnologias são adequadas nos seus níveis poluentes, níveis de riscos e, dependendo das dissemelhantes situações geográficas, hidrológicas, ambientais e sociais, onde se pretende instalá-las (Costa et al, 2021a).

Esta pesquisa mostra, de forma lógica, uma estrutura Matemática-Computacional, que poderá ser aplicada nesse tipo de modelo, comprovando que o gás natural é uma das fontes capaz de promover uma transição

segura de geração de energia elétrica, principalmente, em substituição ao carvão mineral, ao óleo diesel e à madeira.

Historicamente, a participação do gás natural vem crescendo no Brasil. A Figura 1 apresenta o comportamento da participação do gás natural na matriz energética brasileira, de acordo com o MME (2020).

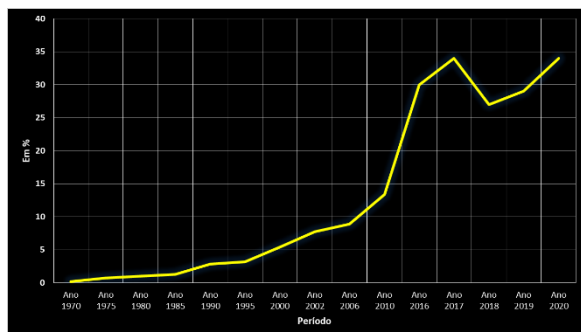


Figura 1. Gás Natural na Matriz Energética do Brasil.

Notadamente esses dados apresentam a relevância do uso do gás natural como opção energética capaz de viabilizar o desenvolvimento sustentável do país.

MATERIAL E MÉTODOS

A geração de energia elétrica no Brasil é constituída, primordialmente, por usinas hidroelétricas. Todavia, o elevado custo para investimentos associado aos impactos socioambientais produzem a necessidade de aprimorar o sistema elétrico nacional, incentivando a diversificação das fontes de energia elétrica. Entre os setores com superior evidência está a geração de energia elétrica a partir do gás natural.

A Figura 2 mostra como essa categoria se expandiu no território brasileiro, tanto para o consumo em geral como para fins elétricos (MME, 2020).

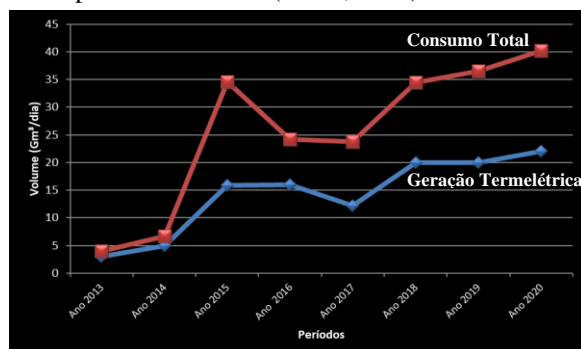


Figura 2. Evolução do consumo do gás natural no Brasil.

Dessa forma, a metodologia utilizada nesse artigo destaca o estudo sobre Equações Diferenciais e suas aplicações no campo dos Sistemas Elétricos, assumindo que o insumo é o gás natural. A pesquisa envolve a análise computacional das Equações Diferenciais relacionadas aos Sistemas de Potência,

uma vez que essas equações explicam o desempenho das principais variáveis do sistema, a Corrente Elétrica e a Tensão Elétrica, em uma Rede Elétrica.

Para Araújo (2014), uma Rede Elétrica é considerada de 1ª ordem quando há um indutor, ou capacitor, que armazena energia elétrica. Dessa maneira, a rede é modelada por uma Equação Diferencial de 1ª ordem, conforme mostra a Equação 1.

$$L \frac{dI}{dt} + RI + \frac{Q}{C} = E(t) \quad (1)$$

Por analogia, nas redes onde há indutor e o capacitor, armazenam a energia elétrica, os modelos são dados por Equações Diferenciais de 2ª ordem. Logo, são denominadas redes de 2ª ordem, conforme mostra a Equação 2.

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = E(t) \quad (2)$$

Sendo,

$Q \rightarrow$ a carga total no banco de capacitores no instante t ;

$I(t) \rightarrow$ a taxa de variação da carga em relação ao tempo, ou seja, a Corrente Elétrica;

$R \rightarrow$ a Resistência elétrica total da rede;

$L \rightarrow$ a Indutância do sistema;

$C \rightarrow$ a Capacitância do sistema;

$E(t) \rightarrow$ a Tensão Elétrica distribuída ao circuito, gerada via gás natural.

Por ser um combustível gasoso, o gás natural apresenta fácil manuseio na utilização, não requer infraestrutura de estocagem e possui os menores níveis de emissões de poluentes (Almeida, 2000). Estas vantagens são suficientes para levar a adoção do gás natural. Entretanto, esta adoção implica em custos importantes para a conversão de equipamentos para aqueles que utilizam combustíveis tradicionais.

A Figura 3 ilustra o diagrama de uma central termelétrica de ciclo aberto, com os seus principais componentes (Costa et al, 2016).

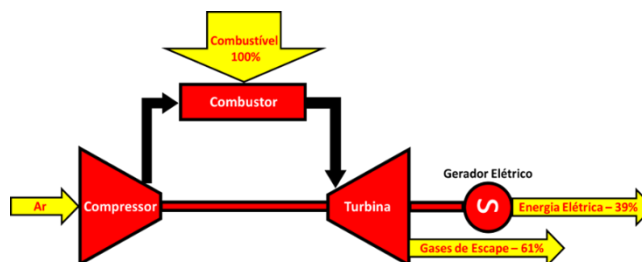


Figura 3. Diagrama esquemático do ciclo aberto.

De acordo com a Companhia de gás do Ceará (Cegás, 2022), a relação entre a quantidade de gás natural e a

geração de energia elétrica está definida na Expressão (3).

$$1m^3 \equiv 32.292MJ \quad (3)$$

Considerando a temperatura de 20 °C e a pressão de 1 atm.

Os modelos para resolução computacional das Equações Diferenciais (1) e (2) estão disponíveis nos *scripts* 1 e 2, respectivamente.

As simulações computacionais foram realizadas mediante o *software* Octave (GNU, 2023). O Octave é uma significativa linguagem computacional científica, direcionada à Matemática. A linguagem aplicada é de alto nível, destinada principalmente para complexos cálculos numéricos, como por exemplo, a resolução de Equações Diferenciais. O *software* é gratuito e pode ser executado nos sistemas Windows, Linux e macOS. Para Costa et al (2021b), a maioria dos códigos escritos em Octave é compatível com *scripts* em Linguagem MATLAB (MathWorks, 2023).

Para a Equação (1), foram aplicados os seguintes comandos em Octave:

```
R = 200 Ω;
L = 20H;
C = 0.01 F;
E(t) = 40t;
Q = 4C
I(0) = 1.
```

Script - 1

```
close all;
clc;
disp('=== IFPA -> GM²SC ===')
disp('Energia Elétrica via Gás Natural')
disp('Simulação Computacional- 1')
vetor_t = [0 1];
i0 = 1;
% Equação Diferencial
E = 40; L = 20; C = 0.01; Q = 4; R=200;
func = @(t,i) (E-R*i-Q/C)/L;
options = odeset('Abstol',
1e-6,'Reltol',1e-6);
[t,i]=ode45(func,vetor_t,i0, options);
%% -----
figure (1)
plot(t,i,'r','DisplayName','I(t)',
'LineWidth',2)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Corrente elétrica (A)')
title('Energia Termoelétrica')
legend
grid on
%% -----
figure (2)
```

```
[X,Y] = meshgrid(0:0.1:1);
ED = (40-200*Y-400)/20;
contourf(X,Y,ED)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Corrente elétrica (A)')
zlabel('E (MJ)')
title('Energia Termoelétrica')
%% -----
figure (3)
surfc(X,Y,ED)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Corrente elétrica (A)')
zlabel('E (MJ)')
title('Energia Termoelétrica')
disp('----- Fim da Simulação 1 -----')
```

Para a Equação (2), foram aplicados os seguintes comandos em Octave:

```
R = 200 Ω;
L = 20H;
C = 0.01 F;
E(t) = 0;
Q = 4C
I(0) = 1.
```

Script - 2

```
clear all;
clc;
disp('=== IFPA -> GM²SC ===')
disp('Energia Elétrica via Gás Natural')
disp('Simulação Computacional - 2')
vetor_t = [0 2];
i0 = [1;0];
E = 40; L = 20; C = 0.01; Q = 4; R=200;
func = @(t,i) [i(2)
-(R.*i(2)/L + i(1)./C.*L)];
options = odeset('Abstol',
1e-6,'Reltol',1e-6);
[t,i] = ode45(func,vetor_t,i0,
options);
%% -----
figure (1)
plot(t,i,'LineWidth',2)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Q(C) e i(A)')
legend('Q(C)', 'i(A)')
title('Geração Termoelétrica')
grid on
%% -----
figure (2)
plot(t,i(:,1),'b','LineWidth',2)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Carga elétrica(A)')
legend('Q(t)')
title('Geração Termoelétrica')
grid on
```

```

%% ----- Fim da Simulação 2 -----
figure (3)
plot(t,i(:,2),'r','LineWidth',2)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Corrente elétrica(C)')
legend('i(t)')
title('Geração Termoelétrica')
grid on
disp('----- Fim da Simulação 2 -----')

```

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cenário 01 – Esse cenário considera uma Rede Elétrica de 1ª ordem, em que a Equação (1) foi aplicada ao fenômeno e resolvida mediante execução do script 1. Os resultados, graficamente apresentados, retratam os comportamentos das principais variáveis envolvidas nesse tipo de circuito elétrico.

A Figura 4 representa o comportamento da corrente elétrica no sistema.

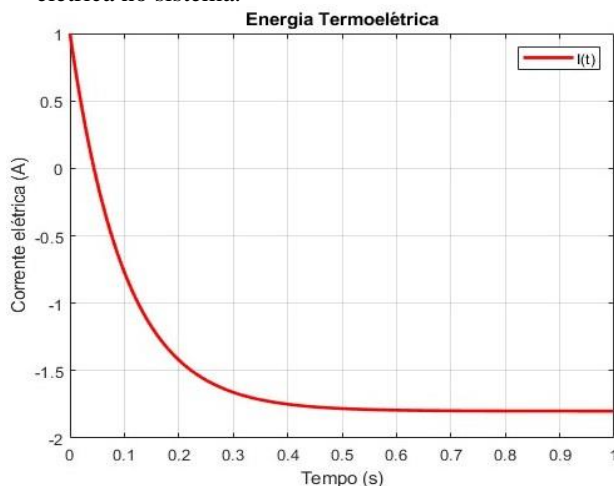


Figura 4. Corrente elétrica em uma Rede de 1ª Ordem.

A Figura 5 representa o comportamento da corrente elétrica no sistema, sob a perspectiva bidimensional.

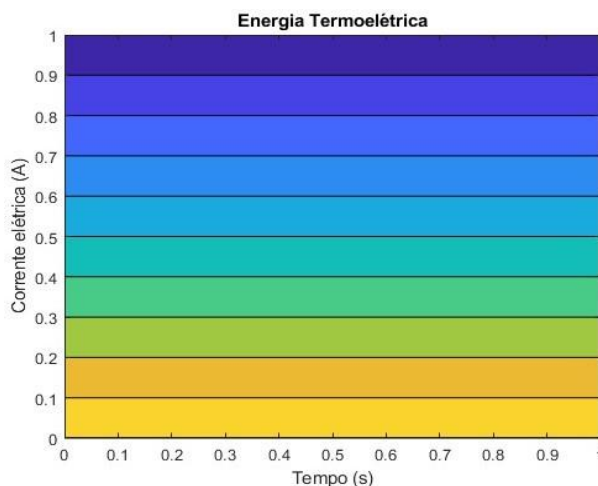


Figura 5. Corrente elétrica: visão bidimensional.

A Figura 6 representa o comportamento da Energia Elétrica no sistema de 1ª ordem.

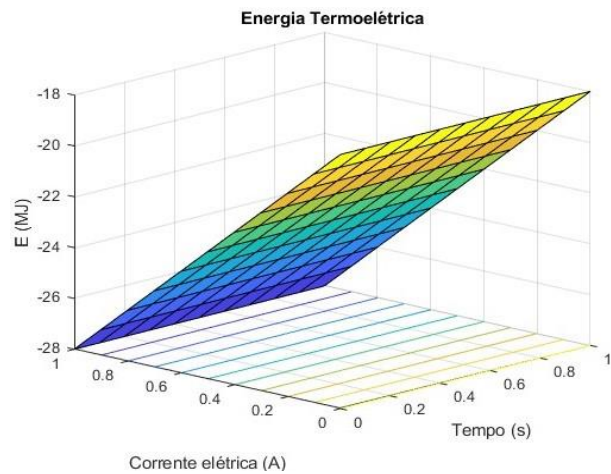


Figura 6. Energia elétrica em uma Rede de 1ª Ordem.

O cenário 1 considerou que a Tensão elétrica que é distribuída ao circuito é dada por uma turbina representada por $E(t)$, abastecida por gás natural.

Da mesma forma, considerou-se que Q é a carga total no banco de capacitores e a corrente elétrica $I(t)$ é a taxa de variação da carga em relação ao tempo, ou seja, a carga depende do tempo t e uma corrente I que também depende do tempo.

Cenário 02 – Esse cenário considera uma Rede Elétrica de 2ª ordem, em que a Equação (2) foi aplicada ao fenômeno e resolvida mediante execução do script 2. Os resultados, graficamente apresentados, retratam os comportamentos das principais variáveis envolvidas nesse tipo de circuito elétrico.

A Figura 7 representa o comportamento da Corrente elétrica no sistema elétrico de 2ª ordem.

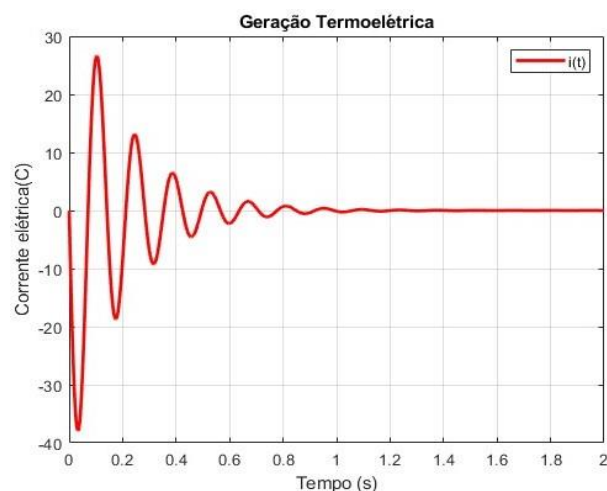


Figura 7. Corrente elétrica em uma Rede de 2ª Ordem.

A Figura 8 representa o comportamento da Carga elétrica no sistema elétrico de 2ª ordem.

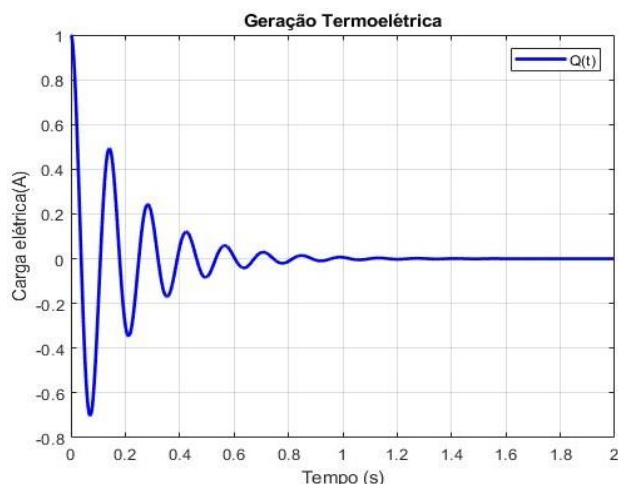


Figura 8. Carga elétrica em uma Rede de 2ª Ordem.

Percebe-se, na Figura 7, que a Corrente elétrica, varia no intervalo $I = [-38; 26]$. No entanto, a Figura 8 destaca que a Carga elétrica, no mesmo intervalo de tempo, varia no intervalo $Q = [-0.7; 1]$.

A fim de comparar as escalas de variações, no mesmo intervalo de tempo $t = [0; 2]$, a Figura 9 escreve ambos os comportamentos, de $I(t)$ e $Q(t)$, no mesmo diagrama.

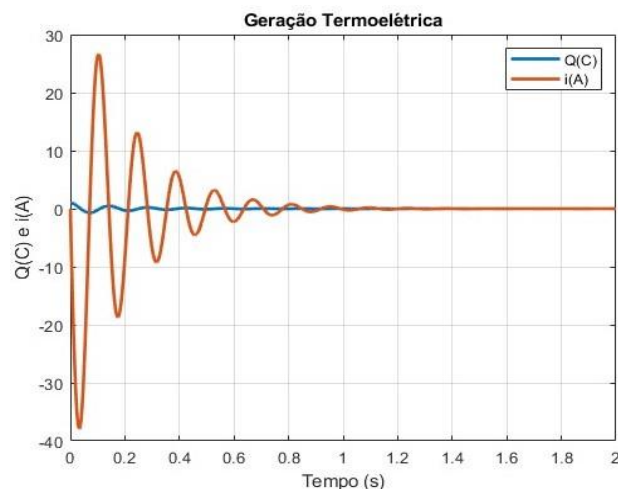


Figura 9. $I(t)$ e $Q(t)$, simultaneamente representadas, em uma Rede de 2ª Ordem.

A intensificação da entrada do gás natural na matriz energética brasileira está fortemente associada à geração termelétrica. Dentre os desafios que se apresentam ao empreitar-se uma iniciativa desta natureza em um sistema elétrico que, além de outras particularidades, conta com uma estrutura baseada na hidroeletricidade, está tem-se a definição do custo da eletricidade gerada a partir do gás natural, de maneira a guardar relação com o seu uso racional enquanto energético (Costa et al, 2022).

A necessidade de expansão da capacidade de geração instalada traz dentro de si a discussão a respeito da competitividade da termoeletricidade, à qual é necessária uma solução a fim de viabilizarem-se modelos Matemático-Computacionais para novos investimentos.

CONCLUSÃO

Desde o início dos anos de 1990 se constata no âmbito internacional uma aceleração da termoeletricidade a gás, mais adaptada aos esquemas socioambientais prevalentes. A previsão dos agentes de um mercado menos regulado, que se consolidou com menor grau de liberdade que o antecipado então, levava a uma corrida para as termoeletricas a gás natural.

Este artigo mostrou que, para o sistema de gás natural, as características para geração de energia elétrica são não-lineares. As análises das Redes Elétricas podem ser classificadas como de 1ª e 2ª ordem, para fornecimento às usinas termelétricas. Em todos os casos, são sempre modelos regidos por Equações Diferenciais.

As estruturas matemáticas, utilizadas para explicar um sistema elétrico de potência, podem ser resolvidas mediante o uso de uma poderosa linguagem computacional: O *Octave*. Essa linguagem apresenta funções residentes capazes de resolver numericamente Equações Diferenciais, de diferentes ordens, e representar graficamente seus resultados. Dessa forma, as interpretações dos comportamentos das variáveis de controle de um sistema integrado de energia elétrica e de gás natural, têm sua margem de erro, absurdamente, reduzidas.

Para futuros trabalhos, investiga-se a utilização do hidrogênio verde como fonte de energia. Modernamente, o Hidrogênio é discutido como um recurso indispensável à descarbonização. É certo que o uso do Hidrogênio em células de combustível ou na indústria é isento de CO_2 , pois emite apenas vapor de água - H_2O . Com tal característica, o Hidrogênio pode ser um símbolo para a descarbonização em energia, transporte e indústria.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA *Campus* Ananindeua. À excelente equipe de Docentes e Discentes do Bacharelado em Ciência e Tecnologia desse *campus*: extremamente competentes e sempre dedicados. Às Pesquisadoras e aos Pesquisadores do grupo Gradiente de Modelagem Matemática e Simulação Computacional – GM²SC, pela motivação e dedicação científica. Muito obrigado pelo seu tempo disponibilizado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Júlio C. de. O processo do gás natural. Portal Gás Brasil, Seção Artigos Técnicos. <www.gasbrasil.com.br/tecnicas/artigos>. 2000.
- ARAÚJO, Camila D. de. Equações Diferenciais aplicadas em Circuitos Elétricos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento de Matemática Curso de Licenciatura em Matemática. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014.
- CEGÁS. Companhia de gás do Ceará. <<https://www.cegas.com.br/gas-natural/>>. 2022.
- COSTA, Denis C. L.; Nunes, Marcus V.A.; Vieira, João P.A. & Bezerra, Ubiratan H. Decision Tree-Based Security Dispatch Application in Integrated Electric Power and Natural-Gas Networks. *Electric Power Systems Research* 141, 442–449. 2016.
- COSTA, Denis C. L., COSTA, Heictor A. de O., Silva, Hugo C. M. da, & Silva, Silvio T. T. da. Matemática Computacional Aplicada à Ciência e Tecnologia. Belém, PA, SINEPEM-IFPA. 2021b.
- COSTA, Heictor A. de O.; COSTA, Denis C. L.; MENESES, Lair A. de. Interdisciplinarity Applied to the Optimized Dispatch of Integrated Electricity and Natural Gas Networks using The tGenetic Algorithm. *Research, society and development, [s. l.]*, v. 10, n. 2, p. E42110212641, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12641. 2021a.
- COSTA, Denis C. L.; COSTA, Heictor A. de O. ; MENESES, L. A. de; LIMA, M. L. V. de; REIS, A. C. F.; PINHEIRO, H. F. B.; COSTA, E. F. da; SILVA, A. R. dos S. da; REIS, A. C. F.; RAIOL, F. M.; SANTOS, R. C. P. dos. Thermoelectric generation with reduced pollutants made possible by bio-inspired computing. *Research, Society and Development, [S. l.]*, v. 11, n. 1, p. e7611124568, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.24568. 2022.
- GNU. GNU OCTAVE. <<https://octave.org>>. 2023.
- MATHWORKS. MATLAB – Matrix Laboratory. <<https://www.mathworks.com>>. 2023.
- MME. Ministério de Minas e Energia Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- Departamento de Gás Natural. Edição nº 166. 2020.
- NELLES, David; SERRER, Christian. Small Gases, Big Effect: This is Climate Change. Particular Books. ISBN - 10: 024146188X. ISBN - 13: 978-0241461884. 2021.