



## **GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT**

### **DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA INTELIGENTE PARA REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO COM O AUXÍLIO DE FERRAMENTAS DE MACHINE LEARNING**

**MARCIO AMERICO(1); RAPHAEL GUIMARAES DUARTE PINTO(2); GUSTAVO CLAUDIO KARL COUTO(2); FABIO MONTEIRO STEINER(3)  
JORDÃO ENERGIA(1); GREENANT(2); EDF NORTE FLUMINENSE S.A.(3)**

#### **RESUMO**

Tradicionalmente projetos de eficiência energética são feitos manualmente, possibilitando falhas no levantamento de dados, na análise e decisões a serem tomadas. O desenvolvimento de uma ferramenta computacional inteligente capaz de organizar, direcionar, sugerir e/ou revisar as escolhas do profissional de eficiência energética e, consequentemente, acelerar o processo de elaboração de diagnósticos energéticos permitirá uma análise muito mais ágil e precisa, minimizando os recorrentes erros que são comuns em todas as fases do processo. O sistema faz uso de um aplicativo móvel combinado a uma plataforma web e algoritmos de machine learning, formando um sistema integrado que auxilia na geração de dados e apontam soluções.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Eficiência Energética; Diagnóstico Energético; Inteligência Artificial; Machine Learning, P&D Aneel.

#### **1.0 INTRODUÇÃO**

##### **1.1 MOTIVAÇÃO**

Atualmente o processo de elaboração de projetos de eficiência energética se dá, em sua ampla maioria, de forma manual, sendo na maior parte das vezes executados em planilhas de cálculo básicas, possibilitando falhas no levantamento de dados e, consequentemente, na análise e decisões a serem tomadas. O desenvolvimento de uma ferramenta computacional inteligente capaz de organizar, direcionar, sugerir e/ou revisar as escolhas do profissional de eficiência energética e, consequentemente, acelerar o processo de elaboração de diagnósticos energéticos permitirá uma análise muito mais ágil e precisa por parte dos profissionais que a utilizem, também minimizando os recorrentes erros que são comuns em todas as fases do processo. Além disso, o processo de captura de dados em campo é feito atualmente de forma ainda rudimentar, através do preenchimento manual em papel e registros fotográficos não integrados. O sistema desenvolvido nesse projeto resolve tais problemas, fazendo uso de um aplicativo móvel combinado a uma plataforma web, que permitirão o acesso a um sistema integrado que capaz de auxiliar os profissionais a gerar os dados e análises, apontando as soluções de economia de energia, com a opção de análise financeira simplificada ou completa. Este projeto foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Aneel, tendo a EDF Norte Fluminense com a empresa proponente e as empresas Jordão Energia e Greenant como executoras.

##### **1.2 APLICABILIDADE**

A realização de um diagnóstico energético é parte fundamental para um bom projeto de eficiência energética (EE). Entretanto, esta etapa tem se mostrado a mais complexa do processo, mesmo para profissionais qualificados, sendo realizados de forma convencional através de planilha Excel, passando a representar um "gargalo" no crescimento das ações de EE no país. A plataforma desenvolvida serve a profissionais da área para realização de diagnósticos energéticos para o PEE/ANEEL, bem como para profissionais iniciantes e/ou com treinamento adequado, para diagnóstico de seus empreendimentos. Para avaliação da dimensão do potencial de aplicação da plataforma, apenas no PEE/ANEEL foram investidos em 2017 cerca de R\$ 543 milhões (fonte: PEE ANEEL), praticamente todos realizados de forma convencional. A incorporação da plataforma pelos profissionais responsáveis vai permitir uma grande economia de tempo e de recursos dos projetos e um salto de qualidade para o Programa.

### 1.3 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO) está trabalhando para incentivar o desenvolvimento do mercado de eficiência energética no país. Segundo projeções do governo, em 2027, a eficiência energética vai equivaler a 8% do consumo total de energia no Brasil em 2017. O presidente da ABESCO ainda acrescenta que as estimativas apontam que o país tem um potencial de R\$ 20 bilhões em economia por meio da eficiência energética. Nossa ferramenta tem o potencial de aumentar muito a eficiência e a velocidade na realização de diagnósticos energéticos, e consequentemente alavancar os resultados em termos de economia de energia.

## 2.0 ATIVIDADES EXECUTADAS

Na presente seção são relatadas as principais atividades realizadas ao longo da execução do projeto.

### 2.1 LEVANTAMENTO DAS FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

O levantamento dessas funcionalidades foi realizado pela equipe da Jordão Energia, sendo a GreenAnt responsável por avaliar e traduzir essas demandas na forma de um sistema computacional. O processo considerou as perguntas tipicamente realizadas pelos consultores de eficiência energética, que foram incorporadas no aplicativo móvel durante a coleta de dados.

Assim, a partir dessas análises, as funcionalidades foram estabelecidas da seguinte forma:

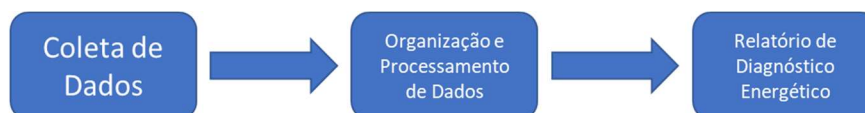


Figura 1 – Elaboração das Funcionalidades do Sistema

### 2.2 ELABORAÇÃO DA ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 2 mostra a esquematização geral da Arquitetura do Sistema que foi implementada.

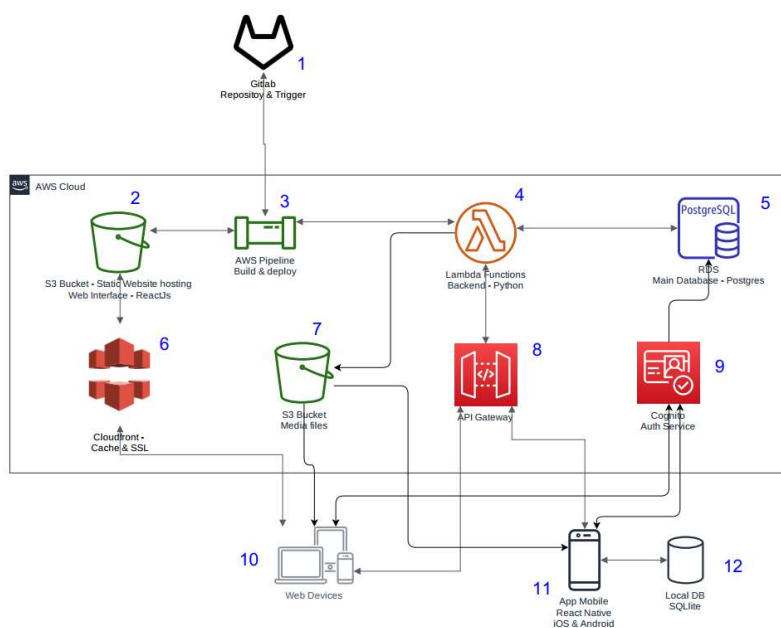


Figura 2 – Esquema da Arquitetura de Sistema

### 2.3 DESENVOLVIMENTO DO LAYOUT DA FERRAMENTA

As telas do aplicativo foram desenvolvidas a partir de um processo contínuo e com constante troca de informações entre a GreenAnt e Jordão Energia, seguindo o seguinte fluxo:

1. Jordão Energia fornece as demandas de funcionalidades
2. GreenAnt avalia e faz os mock-ups navegáveis das telas
3. Jordão Energia avalia, validando ou solicitando novos ajustes
4. GreenAnt realiza os ajustes até a validação da Jordão Energia
5. Tela é encaminhada para implementação (frontend) após aprovação da Jordão Energia

### 2.4 TELAS DO APLICATIVO MÓVEL

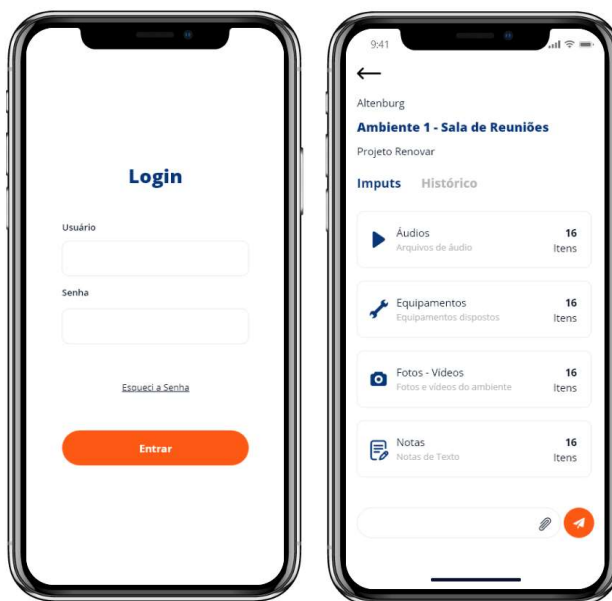


Figura 3 – Telas do App Mobile

### 2.5 TELAS DO PLATAFORMA WEB

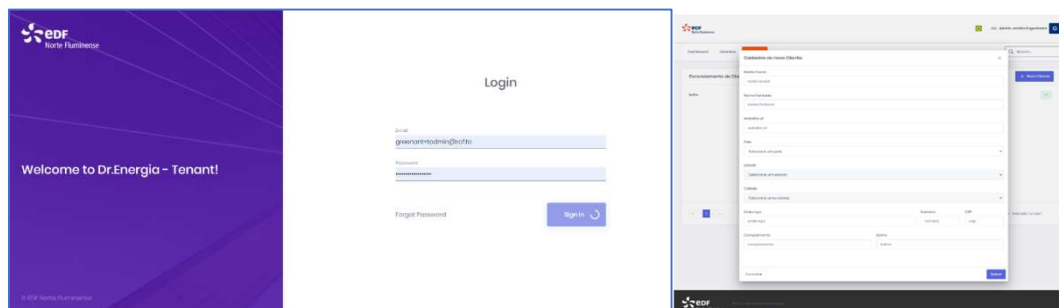


Figura 4 – Telas da Plataforma WEB

## 2.6 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE RECOMENDAÇÕES VIA MACHINE LEARNING

A partir dos metadados dos aparelhos e dos ambientes de instalação, utiliza-se métodos de recomendação para encontrar o equipamento ideal de troca. Os dados de itens foram coletados por especialistas em eficiência energética que visitariam os usuários.

Ao contrário do sistema de recomendação para plataformas de mídia, o usuário apenas deseja uma sugestão de troca, por exemplo trocar uma lâmpada com características X por outra lâmpada com características Y. Ou seja, o usuário possui apenas um item previamente escolhido (a lâmpada X). Isso torna os métodos de filtragem colaborativa menos interessantes, visto que o grupo de usuários com lâmpadas X se torna imutável. Por isso métodos baseados em conteúdo são utilizados nesse estudo.

Com os dados de avaliação e as características dos aparelhos, alimentamos uma árvore de decisão treinada de forma supervisionada para distinguir se o par (aparelho novo, aparelho instalado) é uma boa troca ou não. Árvores de decisão [3] são utilizadas nesse trabalho devido a sua explicabilidade [8], ao contrário de redes neurais e maior assertividade em comparação com classificação bayesiana [9]. Explicabilidade é importante para poder elucidar o especialista a razão pela qual essa sugestão é feita e ele decidir se a troca é necessária ou correta. Isso é especialmente necessário em casos que podem gerar prejuízo financeiro [10], como no caso estudado.

### 2.6.1 PROTÓTIPO DE RECOMENDAÇÃO AUTOMÁTICA DE TROCAS DE LÂMPADAS

Nesse projeto foi desenvolvido um protótipo para gerar recomendação automática de substituição e análise de eficiência para lâmpadas utilizados os dados provenientes de projetos de eficiência energética. O objetivo do protótipo é testar a hipótese de que a quantidade de informação contida nos atributos extraídos das descrições textuais dos equipamentos é suficiente para o algoritmo ser capaz de gerar recomendações em projetos de eficiência energética como as geradas pelos especialistas que conduzem os projetos.

Dos projetos foram levantados 300 equipamentos do tipo lâmpada, dos quais 30% foram separados para teste do algoritmo e 70% foram utilizados para o algoritmo aprender o mecanismo de decisão dos especialistas que realizaram os projetos. Os equipamentos foram separados de forma a preservar a proporção entre os que seriam mantidos ou substituídos por um equipamento específico, através de amostragem uniforme nestes grupos.

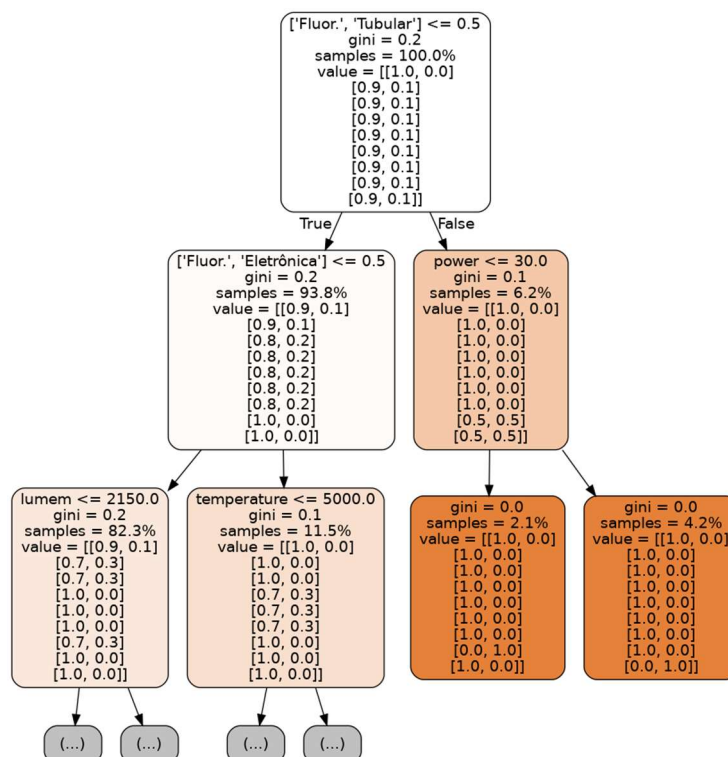


Figura 5 – Primeiros níveis da árvore de decisão para recomendações automáticas



Na Figura 5 pode-se visualizar uma parte dos caminhos de teste da árvore gerada. Para qualquer equipamento, primeiramente é feito um teste para verificar se o equipamento não é uma lâmpada do tipo fluorescente tubular e, caso seja, é realizado um teste para atestar se a potência do equipamento é menor que 30 watts. A depender do resultado, será gerada uma recomendação diferente para o equipamento no projeto de eficiência energética. É possível visualizar uma das vantagens do algoritmo de árvore de decisão: a capacidade de interpretar e entender a lógica que o algoritmo utiliza internamente, o que não é comum a todos os algoritmos de aprendizagem de máquina.

## 2.6.2 RESULTADOS

Na Figura 6 podemos visualizar uma matriz de confusão em que as amostras são organizadas por índice do equipamento substituto para equipamentos existentes em clientes em que o índice de -1 representa equipamentos que não possuem substituto, isto é, para o qual não é recomendado troca. Uma análise detalhada da matriz de confusão mostra que o modelo treinado identificou corretamente todos os casos de teste de substituição de equipamento. Entretanto, ele não foi capaz de identificar uma das oportunidades de troca testadas.

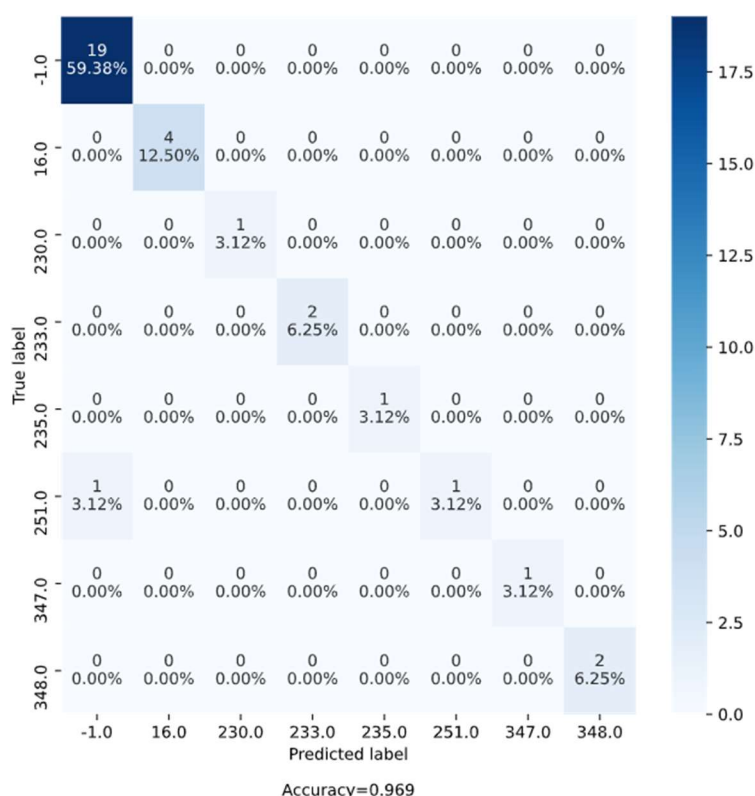


Figura 6 – Matriz de confusão da validação da árvore de decisão

O índice de acurácia da árvore de decisão reflete a quantidade de amostras para a qual a árvore de decisão escolheu as mesmas recomendações que foram sugeridas nos projetos analisados, sobre o total de amostras no conjunto de testes.

No caso estudado, a árvore tem uma precisão avaliada no conjunto de dados de teste de 96,9%, o que sugere que ela foi capaz de assimilar corretamente os mecanismos para identificar oportunidades de troca através do conjunto de sugestões que utilizou para aprender esses mecanismos.

O resultado obtido indica, portanto, uma limitação inerente ao modelo: nem sempre o raciocínio utilizado pelo especialista nos projetos para sugerir a substituição estava presente no conjunto de dados que o algoritmo teve acesso. Ainda assim, a ferramenta tem um potencial de assertividade/eficiência maior do que os procedimentos atuais.

### 3.0 CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

Após a execução das atividades do projeto foi possível desenvolver uma ferramenta capaz de auxiliar e acelerar de forma significativa o processo de elaboração de Diagnósticos Energéticos. A ferramenta temporariamente denominada “Dr. Energia” conta com um aplicativo móvel funcional em sistemas Android e IOS, utilizada para auxiliar o processo de coleta de dados em campo por técnicos que estejam realizando o Diagnóstico Energético, enquanto que a Plataforma Web é utilizada para processar as informações coletadas de forma organizada, permitindo que o usuário decida como proceder em relação à substituição, manutenção e remoção de equipamentos do local. De forma a auxiliar esse processo, foi desenvolvido, também com sucesso, um sistema de recomendações automáticas de ações de eficiência energética, como exemplificado no relatório para o caso das lâmpadas. Trata-se de uma funcionalidade inédita nos processos de elaboração de Diagnósticos Energéticos.

De forma a garantir a sugestão automática de ações de eficiência energética, foi realizado um amplo processo de pesquisa, implementações e testes. O algoritmo de Árvores de decisão apresentou bom resultado preliminar, e mostrou a viabilidade dos algoritmos de aprendizagem para resolver o problema proposto, e posteriormente foi desenvolvido um algoritmo mais robusto, baseado em busca por redes neurais.

Finalmente, foi incorporado ao sistema um gerador automático de relatórios capaz de exportar os dados e decisões do usuário em um documento Word, seguindo o template sugerido pela Jordão Energia. Esse template pode ser ajustado para gerar outros formatos de relatórios de Diagnóstico Energético. Cabe citar que também foi desenvolvido o padrão de relatório PEE ANEEL.

São os próximos passos fundamentais a esse projeto:

- Aumentar a quantidade de dados disponíveis para teste do algoritmo usando os dados de mais projetos já realizados
- Testar o algoritmo em campo
- Utilizar as informações coletadas nos questionários para gerar sugestões
- Criar um índice para o feedback de sugestões para validar a proposição do sistema com o usuário especialista

### 4.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] Konstan, J.A., Riedl, J. Recommender systems: from algorithms to user experience. *User Model User-Adap Inter* 22, 101–123 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9112-x>
- [2] Portugal, I., Alencar, P., & Cowan, D. (2018). The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review. *Expert Systems with Applications*, 97, 205-227.
- [3] Linden, G., Smith, B., & York, J. (2003). Amazon. com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. *IEEE Internet computing*, 7(1), 76-80.
- [4] Carlos A. Gomez-Urbe and Neil Hunt. 2016. The Netflix Recommender System: Algorithms, Business Value, and Innovation. *ACM Trans. Manage. Inf. Syst.* 6, 4, Article 13 (January 2016), 19 pages. DOI:<https://doi.org/10.1145/2843948>
- [5] Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2012). *Pattern classification*. John Wiley & Sons.
- [6] Friedman, N., Geiger, D., & Goldszmidt, M. (1997). Bayesian network classifiers. *Machine learning*, 29(2-3), 131-163.
- [7] Ripley, B. D. (2007). *Pattern recognition and neural networks*. Cambridge university press.
- [8] Becerra, C., Gonzalez, F., & Gelbukh, A. (2011). Visualizable and explicable recommendations obtained from price estimation functions. *Proceedings of the human decision making in recommender systems*, 27-34.
- [9] M. Karim and R. Rahman, "Decision Tree and Naïve Bayes Algorithm for Classification and Generation of Actionable Knowledge for Direct Marketing," *Journal of Software Engineering and Applications*, Vol. 6 No. 4, 2013, pp. 196-206. doi: 10.4236/jsea.2013.64025.
- [10] Carvalho, D. V., Pereira, E. M., & Cardoso, J. S. (2019). Machine learning interpretability: A survey on methods and metrics. *Electronics*, 8(8), 832.

[11] Russell, Stuart J, and Peter Norvig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1995. Print.

[12] Google LLC. (2020). Machine Learning Courses - Recommendation Systems. Acessado em 20/12/2020. <https://developers.google.com/machine-learning/recommendation>

[13] Xiao, Han. (2018). Building Cross-Lingual End-to-End Product Search with Tensorflow. Acessado em 20/12/2020. <https://hanxiao.io/2018/01/10/Build-Cross-Lingual-End-to-End-Product-Search-using-Tensorflow>

## DADOS BIOGRÁFICOS



### (1) MARCIO AMERICO

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal Fluminense (UFF - 1992), com Mestrado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ - 1996) na Área de Eletrônica de Potência - Ênfase em acionamentos eletrônicos de máquinas elétricas e conservação de energia. Atuou como pesquisador por 10 anos no CEPEL (Centro de Pesquisas da Eletrobras) e atualmente é Sócio da empresa Jordão Energia. Atua em projetos de eficiência energética, pesquisa e desenvolvimento e estudos elétricos para empresas nacionais e internacionais.

### (2) RAPHAEL GUIMARAES DUARTE PINTO

Graduação e mestrado em engenharia mecânica focado em eficiência energética e processos de geração de energia na PUC-Rio, doutor em planejamento energético na COPPE/UFRJ. Experiência em consultoria e projetos de P&D para o setor energético. Trabalhou como consultor técnico na área de energia e emissões de gases de efeito estufa para a ONU/PNUD, e órgãos governamentais como o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, Ministério da Fazenda e Ministério de Minas e Energia.

### (3) GUSTAVO CLAUDIO KARL COUTO

Possui graduação em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Militar de Engenharia (2018) e um Mestrado em andamento em Engenharia de Automação e Sistemas na Universidade Federal de Santa Catarina (2022). Atualmente trabalha na área de pesquisa e desenvolvimento da GreenAnt.

### (4) FABIO MONTEIRO STEINER

Graduado em Administração de Empresas Pós Graduado em Finanças (IBMEC) e Petróleo e Gás (COPPE/UFRJ) Gestão de Portfólio de Projetos (FGV) Idiomas: Inglês, Espanhol e Francês Gerente de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação na EDF Norte Fluminense