

Gestão Eficiente da Demanda de Energia em Instituições de Ensino: O Caso da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

Rodrigo C. de Freitas¹ Ronaldo M. Gregório²

PPGMMC/UFRRJ, Seropédica, RJ

Marcelo D. Cruz³

PPGMMC/UFRRJ, Seropédica, RJ

Resumo. O aumento do interesse global nas questões climáticas e ambientais tem gerado debates no que diz respeito ao futuro das fontes energéticas. No Brasil, a necessidade de adequar o sistema elétrico aos contratos de demanda para obter sustentabilidade é uma realidade. A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), formada por sua matriz energética complexa, enfrenta desafios na gestão eficiente da demanda energética. A importância da gestão eficaz da demanda contratada de energia elétrica tem sido destacada, com a programação quadrática sequencial emergindo como uma solução promissora. Este artigo propõe-se a explorar a aplicação de um modelo a fim de otimizar contratos de demanda na UFRRJ, visando contribuir para uma gestão energética eficiente e promover práticas sustentáveis na instituição. As conclusões alcançadas ressaltam a efetividade do modelo na diminuição dos gastos ligados ao contrato de demanda, fornecendo, dessa maneira, uma fundação sólida para sua aplicação no campo real.

Palavras-chave. Sustentabilidade, Programação Quadrática sequencial, Gestão energética.

1 Introdução

O aumento do interesse global em assuntos voltados a questões ambientais e mudanças climáticas tem causado discussões acaloradas a respeito do futuro das fontes de energia em todo o mundo. O Brasil, não sendo exceção, encontra-se diante da necessidade premente de adaptar seu setor elétrico às demandas internacionais por sustentabilidade, conforme destacado por [1]. Em meio a esse cenário, a discussão sobre a matriz energética nacional ganha relevância, impulsionada pela busca por alternativas mais limpas e renováveis. Embora o país disponha de abundantes recursos renováveis, como energia solar, eólica e hidrelétrica, ainda não foram plenamente explorados. Este fato tem provocado reflexões sobre a viabilidade e a urgência de promover a sustentabilidade no setor elétrico brasileiro.

Neste contexto, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), posicionada em um cenário diversificado e distribuída por múltiplos campi, enfrenta desafios significativos relacionados à gestão eficiente de sua demanda energética. Com um sistema de energia composto por 27 subestações e 84 unidades de baixa tensão, a UFRRJ tem procurado constantemente maneiras de diminuir os gastos operacionais e fomentar uma utilização mais ecologicamente responsável dos recursos disponíveis.

¹rodrigofreitas@ufrj.br

²doug8780@yahoo.com.br

³madibcruz@gmail.com

Pesquisas anteriores, como explanado por [3] e [4], apontam para a importância de uma gestão eficaz da demanda de energia elétrica contratada. Essa medida é essencial não só para certificar o bom funcionamento da instituição, mas também para estimular a prevenção do meio ambiente. Nesse contexto, vale destacar a implementação do método de programação quadrática sequencial como uma opção promissora na tomada de decisões referentes a demandas contratadas futuras.

Este artigo propõe-se a explorar a aplicação da programação quadrática sequencial para otimizar contratos de demanda na UFRRJ, considerando as características operacionais distintas da instituição. Diante disso, mediante uma análise detalhada da teoria de programação quadrática e do desenvolvimento do modelo para o problema específico da UFRRJ, no qual serão apresentadas simulações com o algoritmo, espera-se obter resultados que contribuam para a otimização do contrato de demanda.

2 Motivação

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica, região metropolitana do Rio de Janeiro, atua de maneira significativa na educação em nível nacional e regional. Além de sua grande significância no meio acadêmico, podemos destacar suas instalações elétricas centenárias, que gradualmente vêm sendo reformadas. Isso se deve à chegada de engenheiros eletricitistas no setor de engenharia na instituição, compondo um setor de engenharia elétrica com o objetivo de organizar a matriz energética da UFRRJ. A composição do sistema elétrico da instituição atualmente possui 27 unidades de média tensão e 84 unidades de baixa tensão, que hoje são de responsabilidade de uma única pessoa para realizar o gerenciamento e responder junto à concessionária de energia elétrica. Com a chegada de pessoal qualificado, espera-se que haja uma melhoria no que diz respeito à administração de contratos, de demandas e ligações novas, assim como alocação de recursos.

A demanda elétrica se refere à quantidade máxima de energia que um consumidor pode utilizar em determinado período de tempo sem exceder o limite estabelecido no contrato, evitando assim o pagamento de multas por ultrapassagem. No contexto do contrato estabelecido entre a LIGHT S.A. e a instituição, a demanda contratada para o prédio principal P1 da universidade é 375 kW, indicando a capacidade máxima de energia elétrica que esse prédio pode demandar da concessionária sem gerar custos adicionais por ultrapassagem. Conforme determinação do contrato, é permitido ultrapassar até 5% da demanda contratada sem que ocorra a aplicação da multa. Essa definição de demanda elétrica é estabelecida conforme as normas da Agência Nacional de Energia Elétrica [5], que regulamenta o setor elétrico no Brasil. Esses contratos proporcionam previsibilidade e estabilidade tanto para a instituição quanto para a concessionária, permitindo um fornecimento eficiente de energia elétrica.

3 Objetivo

A proposta apresentada visa o desenvolvimento e implementação do modelo de otimização, que tem o objetivo de minimizar custos do contrato de demanda de energia, com o foco em eficiência energética, conforme enfatizado por [6] e [2]. A estrutura considerada integra uma perspectiva ampla, que demonstra combinações de análise de dados, modelagem matemática e técnicas de otimização. Diante da análise de padrões do consumo de energia, é possível averiguar ocasiões para redução de demanda elétrica, onde os contratos podem ser ajustados de maneira eficiente, buscando não apenas a redução de gastos vinculados aos contratos, mas também promover o uso mais racional e eficiente de recursos disponíveis. Além disso, este estudo considera um conjunto de fatores que devem ser levados em consideração, como o estado do clima e as variações sazonais

da demanda, com o objetivo de alcançar soluções customizadas ajustadas à realidade individual de cada organização ou cliente. Pressupõe-se, ao término deste aprendizado, não somente atingir resultados no que diz respeito à redução da demanda contratada, mas atingir a meta de mudanças culturais no caminho de uma mentalidade mais sustentável em relação ao uso de energia elétrica.

4 Metodologia

Neste mundo em constante avanço tecnológico e científico, enfrentamos desafios estimulantes, como a programação quadrática. Diante disso, a busca em maximizar ou minimizar uma função quadrática sujeita a restrições lineares torna-se desafiadora em muitas situações em nosso dia a dia, onde se pode destacar sua importância e eficácia. Esse método não só estabelece recursos para o avanço de algoritmos de aprendizado de máquina, mas também é primordial para o manuseio de métodos industriais, análise financeira e uma diversidade de outras utilidades. Os métodos de programação quadrática são elementos versáteis, aprimorando processos e embasando decisões estratégicas em diferentes campos. Além disso, a programação quadrática desempenha um papel essencial na modelagem de sistemas complexos, oferecendo soluções para uma ampla gama de desafios. Como destacado por [7], a programação quadrática envolve a formulação de um problema primal e seu respectivo dual. Para ilustrar melhor, consideremos o problema primal:

$$\text{minimize } \frac{1}{2}x^T Qx; \tag{1}$$

$$\text{sujeito a } Bx - b \leq 0; \tag{2}$$

Diante disso, temos que a função dual desse problema é estabelecida mediante a minimização da função primal, que por sua vez utiliza o método dos multiplicadores de Lagrange, que resulta na seguinte equação:

$$\phi(\mu) = \min_x \left(\frac{1}{2}x^T Qx + \mu^T (Bx - b) \right); \tag{3}$$

Esta trajetória demonstra a importância dos fundamentos da programação quadrática no progresso do modelo sugerido dentro deste cenário. Através da eficiência e flexibilidade dessas técnicas, foi viável formular uma estrutura analítica apta a enfrentar os obstáculos particulares que surgiram. Neste momento, iremos expor minuciosamente o modelo concebido, ressaltando sua utilidade e impacto na solução de desafios complexos e interdisciplinares.

O modelo proposto é apresentado como um problema de otimização com o objetivo de minimizar a função Z .

$$Z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} w_{ij} \cdot (y_i - c_j)^2 + \psi \cdot \sum_{i=1}^{12} \max(0, c_j - 1.05 \cdot y_i); \tag{4}$$

$$y_i \geq 0, \quad \text{para } i = 1, \dots, 12; \tag{5}$$

$$y_i \leq 375, \quad \text{para } i = 1, \dots, 12; \tag{6}$$

$$y_i \geq c_j, \quad \text{para } i = 1, \dots, 12 \text{ e } j = 1, \dots, 12; \tag{7}$$

Considere a função objetivo Z :

$$Z = \underbrace{\sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{12} w_{ij} \cdot (y_i - c_j)^2}_{\text{Parte 1}} + \underbrace{\psi \cdot \sum_{i=1}^{12} \max(0, c_j - 1.05 \cdot y_i)}_{\text{Parte 2}} \quad (8)$$

Aqui está uma explicação detalhada de cada item:

- minimize $\frac{1}{2}x^T Qx$, Trata-se de uma forma simplificada de demonstrar funções objetivos que envolvem problemas de otimização. O intuito é minimizar a expressão, onde x é um vetor de variáveis e Q é uma matriz que descreve como essas variáveis se relacionam entre si. O objetivo é encontrar o valor x que faz com que essa expressão seja a menor possível.
- sujeito a $Bx - b \leq 0$, esta equação indica que Bx é uma combinação linear das variáveis de decisão x , onde b é um vetor que caracteriza os limites dessas combinações lineares. Esta expressão indica que as combinações lineares devem ser menores ou iguais a b . Isso garante que as soluções do problema estejam dentro dos limites definidos por b .
- $\phi(\mu) = \min_x (\frac{1}{2}x^T Qx + \mu^T (Bx - b))$. O $\phi(\mu)$ representa o menor valor possível de uma combinação de termos quadráticos e lineares, determinada pela otimização em relação a x .
- w_{ij} : Os pesos associados às diferenças entre y_i e c_j . Eles ajustam a importância relativa de cada par y_i e c_j na função objetivo Z . Para este problema, w_{ij} é calculado como $\frac{375 - c_j}{375}$, onde 375 é o limite superior admitido.
- c_j : Parâmetros do modelo que representam o consumo medido em cada mês. Eles são comparados com y_i nas restrições e na segunda parte da função objetivo.
- y_i : Variáveis de decisão a serem otimizadas, representando os valores que minimizam Z . Determinam a quantidade a ser contratada.
- ψ : Parâmetro de ajuste que controla a influência da penalização na segunda parte da função objetivo.
- 1.05: Fator multiplicativo na segunda parte da função objetivo, definindo o limite a partir do qual a penalização é aplicada.
- Somatórios: $\sum_{i=1}^{12}$ e $\sum_{j=1}^{12}$ indicam a soma dos termos para todos os valores possíveis de i e j , de 1 a 12.
- Restrições: $y_i \geq 0$, $y_i \leq 375$ e $y_i \geq c_j$ para garantir que os valores de y_i sejam não negativos, estejam dentro de um limite superior e sejam maiores ou iguais a c_j .

5 Resultados

Os resultados obtidos mediante a implementação do modelo proposto serão apresentados, os quais comprovam a eficiência e importância na resolução do estudo de causa da UFRRJ. O diagnóstico dos resultados é procedente nos seguintes aspectos:

O modelo apresenta uma aptidão considerável de obter a minimização da função objetivo Z , apontando para resultados coerentes dos dados examinados.

Foram realizadas análises em todos os resultados obtidos para verificar se atendiam às restrições estabelecidas para o problema. A variação da viabilidade das soluções é essencial para assegurar que estas estejam dentro dos limites definidos pelo cenário real.

O script desenvolvido com base no modelo sugerido foi rodado utilizando a linguagem Python no Jupyter. Esse procedimento viabilizou a realização de testes simulados, os quais geraram os dados demonstrados nesta parte.

Além disso, para facilitar a compreensão e visualização dos resultados, apresentamos a seguir uma tabela detalhada com os dados alcançados e gráficos que representam a distribuição das soluções identificadas.

A seguir, os dados contendo as demandas registradas ao longo de cada ano na Tabela 1.

Tabela 1: Demandas registradas em KW de 2017 a 2023.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2017	349	270	311	289	256	202	208	208	274	294	356	389
2018	319	324	371	365	304	263	232	217	312	359	338	378
2019	332	316	339	324	303	257	257	228	342	316	382	340
2020	318	348	276	93	73	67	73	81	89	103	101	126
2021	133	130	126	89	78	73	67	99	102	93	110	156
2022	157	176	269	231	209	149	144	171	156	250	244	245
2023	247	264	264	234	209	140	197	214	287	249	303	283

É possível observar na Tabela 2 os resultados das simulações geradas pelo algoritmo de programação quadrática para cada ano. O algoritmo obteve o valor mínimo da função Z , encontrando assim um valor correspondente para y_i , que indica a contratação da demanda ótima de cada ano.

Tabela 2: Resultados das simulações.

Ano	Algoritmo	Z	y_i
2017	Prog Quadrática	28.895	305
2018	Prog Quadrática	16.949	342
2019	Prog Quadrática	13.719	317
2020	Prog Quadrática	54.554	118
2021	Prog Quadrática	10.942	117
2021	Prog Quadrática	18.834	213
2023	Prog Quadrática	16.931	251

Diante dos resultados, é possível verificar na Tabela 3 a economia alcançada ao longo dos anos.

Tabela 3: Resultados das simulações e economia gerada.

Ano	Pago/KW (R\$) UFRRJ	Pago/KW (R\$) Otimiz.	Economia (R\$)
2017	112.391,57	97.732,81	14.658,76
2018	124.913,33	115.954,22	8.959,11
2019	121.896,82	106.767,93	15.128,89
2020	124.756,73	69.527,94	55.228,79
2021	148.415,51	48.142,84	100.272,67
2022	138.002,56	84.680,45	53.322,11
2023	134.696,15	95.228,65	39.467,50
Totais acumulados	905.072,67	618.034,84	287.037,83

Na Figura 1, é possível observar os valores de $Z = 28.895$ e $Y_i = 305$ após a simulação realizada para o ano de 2017, que mostra ainda a comparação entre consumo medido e demanda a ser utilizada ao ano.

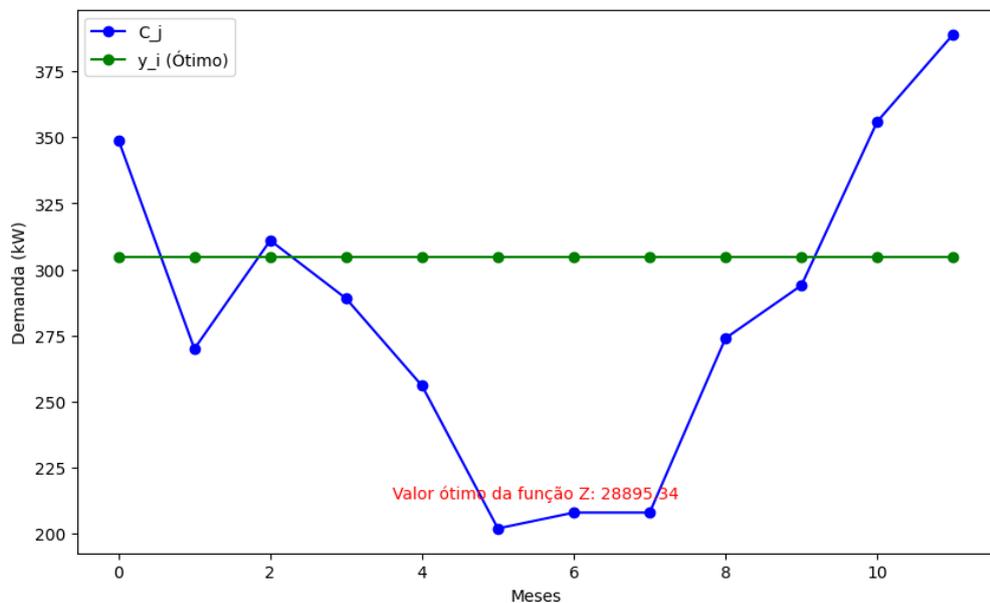


Figura 1: Comparação entre o consumo medido e a demanda ótima encontrada pelo algoritmo para o ano de 2017. Fonte: Autor.

A Figura 2 mostra a economia em reais (R\$) que poderia ter sido obtida ao longo dos anos de 2017 a 2023, como resultado da aplicação do algoritmo de programação quadrática. Cada valor representa a economia estimada que poderia ter sido alcançada se as decisões otimizadas pelo algoritmo fossem implementadas em cada ano.

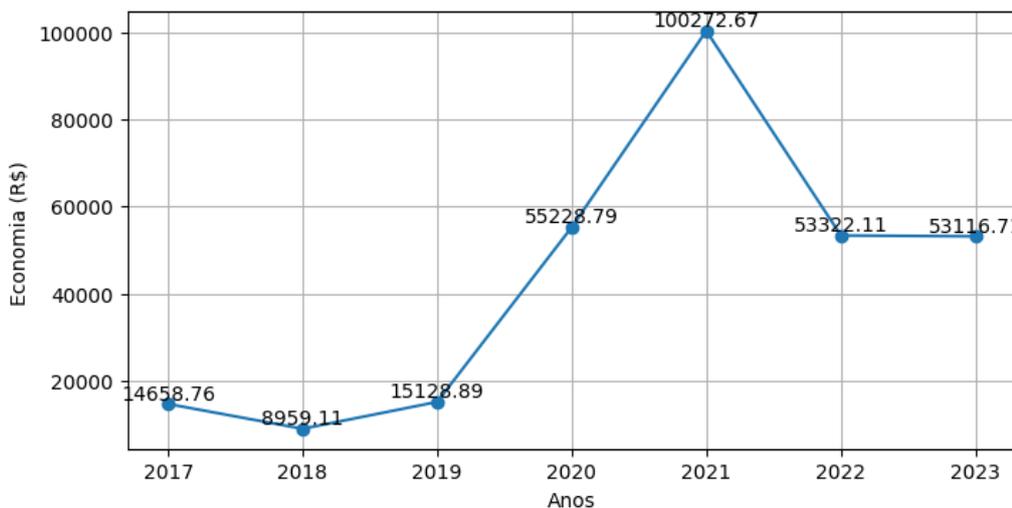


Figura 2: Economia ao longo dos anos de 2017 a 2023. Fonte: Autor.

6 Conclusão

As repercussões das simulações realizadas usando o algoritmo de programação quadrática apontam para resultados que geram economia significativa no que diz respeito aos custos de energia elétrica ao longo de 2017 a 2023. Estes resultados ressaltam o êxito alcançado pelo modelo proposto na minimização dos gastos associados ao contrato de demanda, concedendo assim uma base robusta para a implementação prática do modelo.

Entretanto, independentemente de resultados favoráveis, existem áreas que requerem atenção para investigações adicionais em estudos futuros. É importante realizar uma análise detalhada no que se refere à sensibilidade do modelo diante de diferentes parâmetros e restrições, especialmente em relação ao contrato de demanda, de maneira que tragam compreensão completa de sua robustez e credibilidade em diferentes aspectos.

Além disso, a comparação entre algoritmo de programação quadrática e outros métodos, como Penalidade Interior, Algoritmo Genético, Multiplicadores de Lagrange, Gradiente Conjugado, Gradiente de Descida e Método de Newton, é essencial para investigação de possíveis melhorias, a fim de obter melhores resultados, de maneira que possa comprovar a eficácia do algoritmo em diferentes cenários e elencar suas vantagens comparativas.

Ao analisar estas vertentes, busca-se aperfeiçoar e ampliar o modelo apresentado, que tem a finalidade de otimização das despesas no gerenciamento de energia elétrica, principalmente no que diz respeito ao contrato de demanda.

Em resumo, os dados adquiridos formam uma base sólida e comprovam a validade do modelo de programação quadrática para o estudo proposto da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Esses resultados indicam direções promissoras para pesquisas futuras e avanços no campo.

As conclusões adquiridas indicam o êxito alcançado pelo modelo, uma vez que atenua os custos associados ao contrato de demanda, proporcionando, assim, uma estrutura sólida e confiável.

Referências

- [1] T. L. Aley. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**. 3a. ed., e453135–e453135, 2023.
- [2] F. S. Ozur; T. H. Pereira e J. D. S. Correa. **Controle de Demanda de Energia Elétrica**. e-xacta, v. 4, n. 3, 2012., 2012.
- [3] V. P. Batista Júnior; **Eficiência energética**. Clube de Autores, 2021.
- [4] M. S. Silva; C. S. Carvalho; R. F. A. Menezes; J. R. T. Júnior e L. M. O. Silva. “Eficiência Energética na Gestão da Conta de Energia Elétrica da Universidade Federal de Sergipe.” Em: **XI Colóquio Internacional sobre Gestão Universitária na América do Sul e II Congresso Internacional IGLU** (2011).
- [5] A. P. Nóbrega. **Site oficial da Agência Nacional de Energia Elétrica**. Online. Acessado em 27/03/2024, <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>.
- [6] W. A. Júnior; D. F. L. Farah; C. C. E. de Oliveira; D. F. de Souza; F. M. Scarsi; R. L. Lima e J. P. Bonaldo. **Aplicação de Algoritmos de otimização para determinação do montante ótimo de demanda contratada**. Revista Brasileira de Energia| Vol, v. 28, n. 4, 2022., 2022.
- [7] D. G. Luenberger e Y. Ye. Em: **Linear and Nonlinear Programming**. Vol. 4th ed. New York: Springer, 2016.