Lucas da Mata Guimarães

Titulo do Trabalho

São Paulo - Brasil

2025

Lucas da Mata Guimarães

Titulo do Trabalho

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Centro Universitário Senac - Santo Amaro
Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Nome do Orientador

São Paulo - Brasil
2025

Texto da dedicatória.

Agradecimentos

Texto de agradecimento.

"A vingança nunca é plena,
mata a alma e a envenena.
(MADRUGA, Seu, Chaves)

Resumo

Texto do resumo

Palavras-chaves: palavra-chave 1, palavra-chave 2, palavra-chave 3.

Abstract

Abstract text in english

Key-words: keyword 1, keyword 2, keyword 3

Lista de ilustrações

Lista de tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

GAM	Generalized Additive Models
GLM	Generalized Linear Model
MARS	Multivariate Adaptive Regression Spline
ML	Maximum likelihood

Sumário

1 Introdução

1.1 Contexto

O uso de modelos computacionais, na Biologia, possibilita o avanço de diferentes estudos (COSME, 2025a). Uma destas aplicações são os modelos de distribuição de especies, que são capazes de fornecer uma visualização da situação da fauna e flora de determinada região, podendo mostrar como estas estão se comportando no decorrer do tempo (ELITH; LEATHWICK, 2009).

Entre esses modelos, os mais utilizados são o Generalized Additive Models (GAM) (HASTIE; TIBSHIRANI, 1986) e o Generalized Linear Model (GLM) (PAUL; SAHA, 2007). Esses dois modelos usam uma função para estabelecer uma relação entre a média da variável de resposta e uma função 'suavizada' das variáveis explanatórias, sendo o GLM uma extenção de modelos lineares que não forçam o dado a escalas não naturais, e o GAM uma extenção semi-parametrizada do GLM, tendo a capacidade de atuar com relações não lineares e não monótonas (GUISAN; EDWARDS; HASTIE, 2002).

Já o Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS) combina partição recursiva e ajustes por splines, de modo a manter seus aspectos positivos, enquanto sendo menos vulneravel a suas propriedades não favoraveis. Gerando um conjunto de regras para prever valores futuros apartir de uma análise regressiva. (FRIEDMAN, 1991)

Sendo as aplicações destes modelos encontradas códificadas na linguagem de programação R, que por sua vez é a linguagem de programação mais utilizada quando tratamos de ciência de dados, sendo conhecida como a lingaugem mais robusta para a área de dados, tendo sido pensada para o uso em cálculos e análises estatísticas (AWARI, 2022).

Porém, estes modelos podem requisitar uma alta demanda de processamento e memória do computador hospedeiro, como citado por (COSME, 2025a), ponto este, que não é repassado nos trabalhos referentes a análise ou uso dos modelos citados. Logo, mesmo com a facilidade de se adquirir um computador, tais modelos requerem computadores de alto desempenho para serem treinados, tornando esse processo lento ou criando a necessidade de se alugar maquinas virtuais para está finalidade (RICHTER, 2025).

E quando se coloca a necessidade de se manter um controle das populações de espécies, dentro ou próximo a centros urbanos, a velocidade de preparo destes modelos se torna mais critica, já que é necessário ir desde a coleta dos dados, ao treino e validação do modelo, e análise dos resultados obtidos.

1.2 Justificativa

Identificar a distribuição de espécies em um dado ambiente, em um determinado intervalo de tempo, é importante para termos noção de como as espécies estão respondendo a mudanças no ambiente, no aumento ou diminuição de outra espécie.

Uma vez que essas mudanças podem ser geradas pela ação humana, na construção civil e de infraestrutura (AMETEPEY; ANSAH, 2014), conseguir estimar o impacto dessas

ações é vantajoso para a preservação de espécies.

Além disso, estas abordagens aumentam as possibilidades para integrar a infra-estrutura necessária, contribuindo para a sobrevivência de espécies que estão em níveis populacionais baixos.

Modelos estatísticos, que tem a capacidade de demonstrar estes eventos, aplicam de maneiras diferentes algumas linhas de abordagem. O Generalized Additive Models (GAM), Generalized Linear Model (GLM), e o Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), ambos com uma abordagem de Maximum likelihood (ML), variando em sua capacidade de atuar com um determinado tipo de dado e o custo levado para seu treinamento e utilização (NORBERG et al., 2019).

Modelos que são utilizados na modelagem de distribuição de espécies necessitam de uma quantidade elevada de dados (WISZ et al., 2008), de ocorrência e ausência, sendo os dados de ausência não necessários em todos os tipos de modelos.

Nem todas as espécies são facilmente modeláveis devido à dificuldade de coleta de dados, seja pela sua raridade ou habitat (STOCKMAN; BEAMER; BOND, 2006). A colaboração de cidadãos na coleta de dados pode auxiliar na identificação de áreas prioritárias para pesquisa. Portanto, a identificação de bons modelos que trabalham com esses dados é vantajosa.

Dentro destes modelos, além da quantidade e tipo de dados necessários, precisamos levar em consideração, o custo necessário de processamento e o espaço de memória utilizado pelo mesmo, para este fim utilizamos a análise de complexidade e espaço (CORMEN et al., 2009), já que um modelo mais barato nesse quesito pode ser criado em computadores mais acessíveis (SEDGEWICK; FLAJOLET, 2013), e ser possível a construção de mais de um modelo de modo simultâneo.

Os pontos levantados anteriormente podem afetar a acurácia de um modelo, mesmo atendendo os requisitos, de pouco adianta se o mesmo nos entrega respostas que induzem ao erro. Identificar um modelo que tenham uma boa acurácia, quando trabalham somente com dados de ocorrência, assim como uma melhor avaliação computacional, se vê vantajoso para situações em que queremos criar uma análise inicial de um determinado senário.

1.3 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar a implementação encontrada nas bibliotecas mda e mgcv da linguagem R, dos modelos de distribuição de espécies, GAM, GML e MARS, levantando o custo computacional de cada um destes apartir de uma análise de complexidade e espaço. Encontrando um modelo que melhor aprensente um equilibrio entre a acurácia e o custo computacional.

1.3.1 Objetivos Específicos

1. Análise de complexidade e espaço dos modelos.
    - Generalized Addtive Model;
    - Generalized Linear Model;
    - Multivariate Adaptive Regression Spline;

2. Avaliação da acurácia dos modelos com dados de ocorrência.
3. Comparação dos modelos.
4. Avaliação dos modelos com base na relação custo x acurácia.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Modelos Computacionais

Modelos computacionais são modelos que representam fenômenos de modo simplificado, gerando uma aproximação do evento real, tendo em vista a visualização ou entendimento de determinado fenômeno, codificados em alguma linguagem computacional para ser executado em um computador. Estes modelos podem ser criados por especialistas utilizando de equações matemáticas ou, automaticamente utilizando de técnicas de inteligência artificial. (AUGUSTO, 2025)

Ao processo de criação destes modelos, damos o nome de modelagem computacional, podendo ser aplicado em qualquer situação onde uma análise de um sistema complexo se vê necessária, sendo suas principais aplicações encontradas nas seguintes áreas, como apresentado por (COSME, 2025b):

1. **Ciência e Pesquisa**: Permite o teste de hipóteses de maneira mais rápida e eficiente.
2. **Engenharia**: Essencial para projetos de larga escala, utilizada para testar estruturas antes de começar sua construção.
3. **Medicina**: Permite a modelagem de epidemias, assim prevendo como doenças podem se espalhar em dada população, ajudando a planejar métodos de controle.

O tipo da modelagem depende do tipo de fenômeno ou problema que queremos tratar, onde os tipos principais segundo (COSME, 2025b) são:

1. **Modelagem determinística**: O comportamento do sistema é previsível, onde os mesmos parâmetros de entrada sempre produzem os mesmos resultados. Mais visto no campo da Física e Engenharia, onde os fenômenos naturais seguem um conjunto de regras bem definido.
2. **Modelagem estocástica**: Inclui elementos de incerteza e aleatoriredade, o sistema pode apresentar resultados diferentes para o mesmo conjunto de parâmetros de entrada. Comumente usada onde o acaso desempenha um papel importante, como na Biologia e Economia.
3. **Modelagem dinâmica**: Focada em sistemas que mudam ao longo do tempo, essencial em áreas como a Ecologia e Epidemiologia, onde se é preciso prever a evolução de sistemas biológicos ou a propagação de doenças.

2.1.1 Modelos Lineares

Modelos lineares são modelos que preveem uma respota linear utilizando de base a relação entre o resultado e as propriedades dadas como parâmetros. Sendo uma opção

mais simples, possui propriedades mais fáceis de serem entendidas e um tempo de desenvolvimento mais curto quando comparado a outros tipos de modelos, como redes neurais, ou árvores de decisão, empregadas no mesmo problema. (IBM, 2025)

A linearidade destes modelos, implica que matematicamente a variação dos parâmetros independentes não possuem relações entre si, e podem ser separados em dois grupos clássicos (ADALARDO, 2020).

- **Modelos de Regressão**: Este grupo é utilizado para modelar relações entre variáveis quantitativas, que são um conjunto de valores de possível representação numérica, indicando quantidade ou magnitude. Com o intuito de estimar parâmetros, explicando relação ou para fazer predições.
- **Modelos de Análise de Váriancia**: Estes modelos tem como questão principal comparar a importância de fatores sobre o comportamento da variável de resposta. Para encontrar a relação entre grupos de análise, de modo a indentificar oque gera a diferença entre os grupos estudados.

Ambas as abordagens ao modelo linear, irão gerar uma regressão linear, que é um modelo matemático que descrevem a relação entre as váriveis dependentes e independentes usadas, tendo a possibilidade de ser representado graficamente. Podendo ser de dois tipos, simples ou múltipla.

Na regressõa linear simples, queremos estimar os valor de a e b da equação da reta, $y = a + bx$, apartir de um conjunto de dados x e y, onde y representa a váriavel dependete e x á váriavel independente, que melhor represente a relação entre x e y. Em outras palavras, queremos estimar a inclinação da reta, esta que nos indica o efeito em y das mudanças ocorridas em x (CHEIN, 2019).

A essa reta, é dado o nome de reta de regressão linear, está que depende de cinco estátisticas básicas (CHEIN, 2019):

1. Média de X: $\overline{X} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i$;
2. Desvio padrão de X: $S_x = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2}$;
3. Média de Y: $\overline{Y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i$;
4. Desvio padrão de Y: $S_y = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \overline{Y})^2}$;
5. Correlação de X e Y: $r = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N} \frac{X_i - \overline{X}}{S_X} . \frac{Y_i - \overline{Y}}{S_Y}$

Com estas estátisticas podemos traçar a reta de regressão, sabendo que esta passa pelo ponto médio $(\overline{X}, \overline{Y})$. A inclinação da reta será dada por:

$$\beta_1 = \frac{r.S_y}{S_x} \tag{2.1}$$

E o intercepto da reta de regressão, onde a reta corta um dos eixos do plano cartesiano, será dado por:

$$\beta_0 = \overline{Y} - \beta_1 \overline{X} \tag{2.2}$$

Assim resultamos na seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \tag{2.3}$$

Onde:

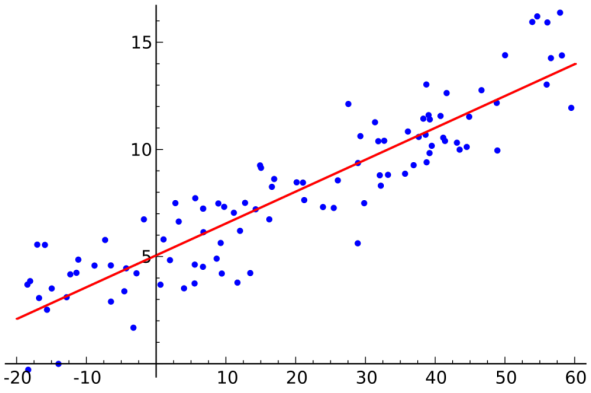
- (X) é a variável independente;
- (Y) é a variável dependente;
- (β_0) é o intercepto da reta;
- (β_1) é a inclinação da reta.

Porém, a equação 2.3 ainda não proporciona os valores de Y, mesmo possuindo os valores para β_0 e β_1, visto que não é apenas a váriavel X que afeta os valores de Y quando tratamos de ocorrência no mundo real, assim incluimos um termo de erro ϵ (CHEIN, 2019).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon \tag{2.4}$$

Agora com a equação 2.4, podemos criar a reta de regressão, que pode ser representada graficamente, possuindo uma estrutura semelhante ao gráfico a seguir:

Figura 1 – Regressão Linear Simples



Fonte: EBAC (2023)

3 Desenvolvimento

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed sollicitudin tempor sapien in maximus. Quisque in vulputate dui, ac vestibulum sem. Suspendisse urna velit, dapibus nec egestas a, rhoncus vitae neque. Mauris quis efficitur augue. Aliquam quis tellus eget orci aliquet aliquam. Sed luctus, quam vitae elementum malesuada, quam lacus imperdiet urna, sed ullamcorper libero magna non elit. Cras laoreet arcu a augue volutpat, suscipit pretium tellus tempus. Sed eros tortor, imperdiet eu neque id, interdum egestas tortor.

4 Resultados

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed sollicitudin tempor sapien in maximus. Quisque in vulputate dui, ac vestibulum sem. Suspendisse urna velit, dapibus nec egestas a, rhoncus vitae neque. Mauris quis efficitur augue. Aliquam quis tellus eget orci aliquet aliquam. Sed luctus, quam vitae elementum malesuada, quam lacus imperdiet urna, sed ullamcorper libero magna non elit. Cras laoreet arcu a augue volutpat, suscipit pretium tellus tempus. Sed eros tortor, imperdiet eu neque id, interdum egestas tortor.

5 Conclusão

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed sollicitudin tempor sapien in maximus. Quisque in vulputate dui, ac vestibulum sem. Suspendisse urna velit, dapibus nec egestas a, rhoncus vitae neque. Mauris quis efficitur augue. Aliquam quis tellus eget orci aliquet aliquam. Sed luctus, quam vitae elementum malesuada, quam lacus imperdiet urna, sed ullamcorper libero magna non elit. Cras laoreet arcu a augue volutpat, suscipit pretium tellus tempus. Sed eros tortor, imperdiet eu neque id, interdum egestas tortor.

5.1 Trabalhos Futuros

- Trabalho Futuro 1
- Trabalho Futuro 2
- Trabalho Futuro 3

Referências

ADALARDO. *7. Modelos Lineares*. 2020. Acesso em: 26 de Abril de 2025. Disponível em: <http://ecor.ib.usp.br/doku.php?id=03_apostila:06-modelos#:~:text=SÃčo%20chamados%20modelos%20lineares%20aqueles,dos%20demais%20parÃćmetros%20do%20modelo.> Citado na página 15.

AMETEPEY, S. O.; ANSAH, S. K. Impacts of construction activities on the environment : the case of ghana. *Journal of Construction Project Management and Innovation*, v. 4, n. sup-1, p. 934–948, 2014. Disponível em: <https://journals.co.za/doi/abs/10.10520/EJC162729>. Citado na página 11.

AUGUSTO, D. A. *Entenda o que são modelos computacionais e como o SISS-Geo os utiliza*. 2025. Acesso em: 25 de Abril de 2025. Disponível em: <https://www.biodiversidade.ciss.fiocruz.br/entenda-o-que-sao-modelos-computacionais-e-como-o-siss-geo-os-utiliza>. Citado na página 14.

AWARI. *Conheça as principais linguagens de programação para Ciência de Dados*. 2022. Acesso em: 25 de Abril de 2025. Disponível em: <https://awari.com.br/linguagens-de-programacao-para-ciencia-de-dados/>. Citado na página 11.

CHEIN, F. *Introdução aos Modelos de Regressão Linear*. Enap, 2019. ISBN 9788525601155. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4788/1/Livro_RegressÃčo%20Linear.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

CORMEN, T. et al. *Introduction to Algorithms, third edition*. MIT Press, 2009. (Computer science). ISBN 9780262033848. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=i-bUBQAAQBAJ>. Citado na página 12.

COSME, A. L. *Modelagem computacional: o que é, qual sua aplicação*. 2025. Acesso em: 17 de Abril de 2025. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/modelagem-computacional/>. Citado na página 11.

COSME, A. L. *Modelagem computacional: o que é, qual sua aplicação*. 2025. Acesso em: 25 de Abril de 2025. Disponível em: <https://123ecos.com.br/docs/modelagem-computacional/#:~:text=Os%20principais%20tipos%20sÃčo%20a,em%20diferentes%20Ãąreas%20do%20conhecimento.> Citado na página 14.

EBAC. *Regressão Linear: teoria e exemplos*. 2023. Avesso em: 27/04/2025. Disponível em: <https://ebaconline.com.br/blog/regressao-linear-seo>. Citado na página 16.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, Annual Reviews, v. 40, n. Volume 40, 2009, p. 677–697, 2009. ISSN 1545-2069. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>. Citado na página 11.

FRIEDMAN, J. H. Multivariate Adaptive Regression Splines. *The Annals of Statistics*, Institute of Mathematical Statistics, v. 19, n. 1, p. 1 – 67, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/aos/1176347963>. Citado na página 11.

GUISAN, A.; EDWARDS, T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, v. 157, n. 2, p. 89–100, 2002. ISSN 0304-3800. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380002002041>. Citado na página 11.

HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. Generalized Additive Models. *Statistical Science*, Institute of Mathematical Statistics, v. 1, n. 3, p. 297 – 310, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/ss/1177013604>. Citado na página 11.

IBM. *Modelos lineares*. 2025. Acesso em: 26 de Abril de 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/pt-br/spss-modeler/18.5.0?topic=node-linear-models>. Citado na página 15.

NORBERG, A. et al. A comprehensive evaluation of predictive performance of 33 species distribution models at species and community levels. *Ecological Monographs*, v. 89, n. 3, p. e01370, 2019. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ecm.1370>. Citado na página 12.

PAUL, S.; SAHA, K. K. The generalized linear model and extensions: a review and some biological and environmental applications. *Environmetrics*, v. 18, n. 4, p. 421–443, 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/env.849>. Citado na página 11.

RICHTER, F. *Amazon and Microsoft Stay Ahead in Global Cloud Market*. 2025. Acesso em: 19 de Abril de 2025. Disponível em: <https://www.statista.com/chart/18819/worldwide-market-share-of-leading-cloud-infrastructure-service-providers/>. Citado na página 11.

SEDGEWICK, R.; FLAJOLET, P. *An Introduction to the Analysis of Algorithms*. Pearson Education, 2013. ISBN 9780133373486. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=P3tCB8Q7mA8C>. Citado na página 12.

STOCKMAN, A. K.; BEAMER, D. A.; BOND, J. E. An evaluation of a garp model as an approach to predicting the spatial distribution of non-vagile invertebrate species. *Diversity and Distributions*, v. 12, n. 1, p. 81–89, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1366-9516.2006.00225.x>. Citado na página 12.

WISZ, M. S. et al. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, v. 14, n. 5, p. 763–773, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1472-4642.2008.00482.x>. Citado na página 12.

Apêndices

APÊNDICE A – Exemplo de seção de anexo

EXEMPLO DE CODIGO A SER ADICIONADO