**Lista de abreviaturas**

AVC Acidente Vascular Cerebral

TC Tomografia computadorizada

CNN Rede Neural Convolucional

FN Falso negativo

TN Verdadeiro negativo

FP Falso positivo

TP Verdadeiro positivo

FPR Taxa de falso positivo

TPR Taxa de verdadeiro positivo

ROC Característica de Operação do Receptor

AUC Área abaixo da curva

**2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

**2.1 Acidente vascular cerebral – AVC**

2.1.1 Fatores de risco da doença

2.1.2 Diagnóstico com tomografias computadorizadas (TC)

**2.2 Aprendizado de Máquina**

2.2.1 Aprendizado Supervisionado

2.2.1.1 Regressão Logística

2.2.1.2 Floresta Aleatória

**2.3 Aprendizagem profunda**

2.3.1 Neurônios artificiais

2.3.2 Redes Neurais Artificiais

2.3.3 Rede Neural Convolucional

**2.5 Métricas para avaliação de desempenho**

2.5.1 Acurácia

2.5.2 Tipos de erro

2.5.3 Matriz de confusão

2.5.4 Taxa de FP, taxa de TP e Curva ROC

**2.1 Acidente vascular cerebral – AVC**

O Acidente Vascular Cerebral (AVC) está entre as doenças de maior destaque que existem, sendo uma das principais causas de morte, incapacitação física e internação em todo o mundo. Tal doença é caracterizada pela alteração do fluxo sanguíneo que ocorre na região cerebral, impedindo que o sangue, e consequentemente o oxigênio, chegue às células da região, causando a morte das mesmas. A morte dessas células danifica o funcionamento do cérebro e pode deixar graves sequelas nas vítimas da doença.

A alteração do fluxo de sangue do cérebro pode se originar da obstrução total ou parcial de alguma artéria da região, o que é conhecido como acidente vascular cerebral isquêmico, ou simplesmente infarto cerebral. Esse tipo de AVC é o mais comum entre os casos da doença e pode ocorrer devido a um trombo (caso de trombose) ou êmbolo (caso de embolia) presente na vítima.

Uma outra origem da alteração do fluxo de sangue mencionada é o caso do rompimento de determinado vaso sanguíneo do cérebro, o que causa uma hemorragia na região. Esse caso caracteriza o acidente vascular cerebral hemorrágico. Tal rompimento de determinado vaso altera o nível da pressão intracraniana e pode dificultar também a chegada de sangue em outras áreas não afetadas. Embora seja menos comum, esse tipo de AVC é o mais grave, tendo maiores índices de mortalidade quando comparado ao outro tipo abordado (AVC isquêmico).

Com relação ao sintomas presentes nas vítimas, dor de cabeça forte sem causa aparente; fraqueza ou formigamento da face, braço ou perna (especialmente em apenas um dos lados do corpo); alteração da fala e/ou da compreensão; alteração da visão de um ou ambos os olhos; e dificuldade, ou incapacidade, de se movimentar são sintomas bastante comuns em ambos os tipos da doença.

Em específico para o caso de acidente vascular cerebral isquêmico, tem-se de forma comum os sintomas de tontura e perda de equilíbrio ou coordenação. Já para o caso de AVC hemorrágico pode ocorrer também náusea, vômito, confusão mental e, em alguns casos, perda de consciência. Em tal caso também podem aparecer os sintomas de sonolência exagerada, alterações na frequência cardíaca e respiratória, e até mesmo convulsões. Vale ressaltar que é de grande importância que um indivíduo com os sintomas apresentados procure assistência médica o mais rápido possível. Dessa forma, a doença pode ser diagnosticada e tratada rapidamente, possivelmente resultando em maiores chances de sobrevivência da vítima e menores sequelas.

2.1.1 Fatores de risco da doença

**Existem alguns fatores que aumentam a probabilidade da ocorrência do acidente vascular cerebral, facilitando o desencadeamento da doença. Estes são denominados fatores de risco e podem ser inerentes à vida humana, maus hábitos, estilo de vida inadequado ou até mesmo questões genéticas. Os principais fatores são:**

* **Hipertensão**
* **Diabetes**
* **Obesidade**
* **Tabagismo**
* **Consumo excessivo e frequente de álcool e drogas**
* **Estresse**
* **Idade avançada (envelhecimento)**
* **Histórico familiar**
* **Sexo masculino**
* **Colesterol elevado**
* **Doenças cardiovasculares (principalmente as que produzem arritmia cardíaca)**
* **Sedentarismo**
* **Doenças do sangue**

2.1.2 Diagnóstico com tomografias computadorizadas (TC)

Além da análise de fatores de risco e sintomas, outra forma de identificar o quadro de acidente vascular cerebral em vítimas da doença é através da análise de tomografias computadorizadas. Os quadros de AVC podem apresentar características aparentes quando analisados em tais tomografias, permitindo a identificação da doença e o nível de ocorrência da mesma em determinado cérebro.

Áreas hipodensas (mais escuras) que impedem a visualização de determinada região possivelmente indicando perda de tecido total ou parcial naquele local, por exemplo, é uma característica comum nos quadros da doença. A tomografia computadorizada vem sendo utilizada como principal forma de diagnosticar quadros de AVC para definir um possível tratamento. As figuras abaixo são exemplos de cada caso utilizado neste trabalho, sendo uma para caso de AVC hemorrágico, uma para isquêmico e uma para caso de normalidade (sem presença da doença):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Condição normal | AVC Hemorrágico | AVC Isquêmico |

**2.2 Aprendizado de Máquina**

O Aprendizado de Máquina, ou Aprendizagem de Máquina, é uma área da inteligência artificial que lida com o a criação de programas “inteligentes”, capazes de aprender determinados conceitos sem serem explicitamente programados para isso, capazes de adquirir conhecimento, de aprender e tomar decisões a partir desse aprendizado. Tal área explora também a capacidade de programas e sistemas conseguirem realizar previsões sobre determinadas situações, aprendendo através da análise de dados já existentes sobre tais situações.

Envolvendo conceitos estatísticos, reconhecimento de padrões e programação, a área de Aprendizado de Máquina possibilita que resultados sejam especulados de acordo com acontecimentos passados semelhantes, através de um processamento dos dados usando o reconhecimento de padrões. **Um sistema de aprendizado é um programa de computador que toma decisões baseadas em experiências acumuladas através da solução bem sucedida de problemas anteriores [1].**

Com relação à criação de uma solução utilizando conceitos de Aprendizado de Máquina, o processo geralmente envolve duas etapas, o treinamento e a avaliação. A etapa de treinamento é quando um determinado conjunto de dados é passado para o modelo processá-lo, aprendendo a reconhecer padrões e também a fazer previsões. A etapa de avaliação consiste em passar dados semelhantes ao determinado conjunto de dados utilizado no treino para que o desempenho do modelo seja medido, analisando os resultados esperados com os resultados obtidos.

No campo do Aprendizado de Máquina, existem três tipos diferentes de aprendizagem: aprendizado supervisionado, aprendizado não supervisionado e aprendizado por reforço. Os algoritmos de Aprendizado de Máquina utilizados neste trabalho pertencem à área de aprendizado supervisionado e, portanto, apenas esta será abordada com mais detalhes.

2.2.1 Aprendizado Supervisionado

O Aprendizado supervisionado utiliza dados rotulados no treinamento do modelo, o qual prevê uma**variável dependente** a partir de uma ou mais **variáveis independentes**. Existem diversos algoritmos desse tipo de aprendizado, sendo os principais: regressão linear, regressão logística, máquina de suporte vetorial, árvores de decisão, k-vizinhos mais próximos, floresta aleatória, entre outros. Os utilizados neste trabalho para desenvolver o classificador de fatores de risco foram apenas a Regressão Logística e o Classificador de Floresta Aleatória.

2.2.1.1 Regressão Logística

A Regressão Logística é um modelo estatístico capaz de modelar determinada probabilidade de um evento acontecer a partir da combinação linear de variáveis independentes entre si associadas a tal evento. Muito utilizado em situações de classificação binária, esse modelo combina variáveis independentes com respectivos pesos atribuídos a elas de modo a obter um valor a partir deste processo. Tal valor é passado para uma função logística que resulta em uma probabilidade de o evento em questão acontecer.

De forma simplificada, o algoritmo de Regressão Logística – especificamente para casos binários (utilizado neste trabalho) – ajusta uma curva (no caso uma função logística) que separa de forma eficiente os dados em duas classes distintas. Tal curva ajustada é obtida através da junção das seguintes equações:

(equação I)

(equação II)

Cada variável independente passada para o modelo é interpretada como e cada peso respectivamente associado é interpretado como (*i* varia de 0 a *n*, sendo este o número total de variáveis passadas para o modelo). Através da combinação linear de cada ponto , é obtido o valor *z* (equação I). Tal valor é passado para uma função logística (equação II) e tem-se como resultado disso um valor (comumente determinado como ) entre 0 e 1. De forma padrão para casos binários, se for maior ou igual a 0.5, então pode-se concluir que a entrada analisada pertence à classe 01, senão, tem-se o caso sendo pertencente a outra classe da classificação binária (por exemplo, classe 02).

Figura 02 – Gráfico de uma função logística f(x) sendo utilizada para divisão de duas classes a partir do valor 0.5 (limiar entre as classes)



Fonte: autoria própria

Cada peso da equação é identificado como e é gerado, inicialmente, de forma aleatória, sendo ajustado durante a fase de treinamento (ajuste) do modelo. Tal fase ocorre de forma iterativa e utiliza um conjunto de valores de dimensão *m* x *n*, em que *m* é o número total de registros diferentes do conjunto de dados e *n* é o número total de variáveis de cada registro. Para cada iteração *j* (*j* varia de 0 a *m*), os valores são alterados para atingirem valores mais otimizados (que geram menores erros) tanto para casos de classe 0 quanto para casos de classe 1.

Erros extremamente baixos não necessariamente compõem um modelo eficiente. A medida que um classificador é composto por pesos muito ajustados (com erro muito baixo), ele fica exageradamente ajustado e, assim, com baixa capacidade de generalização. Esse caso é conhecido como sobreajuste e torna o modelo muito eficiente para classificar dados muito semelhantes com os que foi treinado, porém classificando de forma equivocada dados não semelhantes.

2.2.1.2 Floresta Aleatória

Floresta Aleatória é um modelo de aprendizado de máquina composto por um conjunto aleatório de Árvores de Decisão que pode ser usado em situações de regressão ou classificação, por exemplo. Especificamente para problemas de classificação, como o abordado neste trabalho, o modelo classifica de acordo com a classificação feita pelas árvores que o compõem. Dessa forma, se há um resultado classificativo mais frequente, isto é, se a maioria das árvores gerou determinada classificação, então esta será a que o modelo de floresta aleatória irá resultar em sua conclusão.

A estrutura de uma Árvore de Decisão é constituída por vários blocos de decisão comumente denominados de nós. Cada nó funciona como um bloco condicional que encaminha a entrada recebida para um de seus filhos de acordo com o valor o qual ele analisa. Tal processo é feito para todo nó pertencente à árvore até chegar em determinado nó folha que, por sua vez, representa uma das possíveis classes do problema. Portanto, em uma árvore de decisão, uma entrada percorre um dos diferentes caminhos possíveis até chegar em um nó folha que a classifica como uma das possíveis rotulações da situação. Tal caminho acabada sendo definido de acordo com os valores que pertencem a entrada em questão. A figura X representa um exemplo que ilustra uma possível estrutura de uma Árvore de Decisão.

Para cada tipo de situação abordado, isto é, para cada problema e conjunto de dados, os caminhos, os nós e os critérios de divisão de cada nó mudam. A etapa de treinamento do modelo irá analisar quais divisões são mais eficientes, utilizando critérios como entropia, por exemplo, e assim definirá os melhores caminhos a serem construídos. Portanto, existem infinitas possibilidades de estruturas para árvores de decisão, sendo cada uma delas definidas de acordo com o conjunto de dados utilizado na etapa de treino do modelo.

A ideia do algoritmo de Floresta Aleatória é justamente utilizar dessas diversas possibilidades de estrutura das Árvores de Decisão e criar assim uma floresta com várias árvores diferentes abordando o mesmo problema, classificando determinada entrada recebida de acordo com a classificação mais frequente das árvores que compõem o modelo.

Figura 03 – Exemplo de estrutura de uma Árvore de Decisão para um conjunto de dados que contenha as variáveis *Idade*, *Problema* *Cardíaco*, *Alcoolismo*, *Gênero* e *Tabagismo*, com as possíveis rotulações de classe *não* *AVC* e *AVC*.



Fonte: autoria própria

Figura 04 – Estrutura de um modelo de Floresta Aleatória para m variáveis, contendo n Árvores de Decisão com duas possibilidades de classificação: Classe 01 e Classe 02.

****

Fonte: autoria própria

**2.3 Aprendizagem profunda**

2.3.1 Neurônios artificiais

O neurônio artificial é o principal componente das redes neurais computacionais e seu funcionamento é baseado nos neurônios reais, que compõem o sistema nervoso. Os neurônios reais, base do sistema nervoso, são células que estabelecem conexões entre si para transmitir impulsos nervosos pela região cerebral. O neurônio artificial é uma estrutura com funcionamento que se assemelha do neurônio real, mantendo a principal característica dessas estruturas de criarem conexões entre si, recebendo informações provenientes de outros neurônios e passando elas adiante.

Os principais componentes de um neurônio artificial são as entradas, os pesos, a função de ativação e saída. As entradas, geralmente representadas pela letra *x*, recebem a informação que chega para o neurônio. Tal informação é multiplicada por um determinado peso, comumente representado pela letra *w*, e o resultado disso é passado para uma função de ativação, que processa os valores recebidos e retorna um ou mais valores que servirão de entrada para um outro neurônio artificial conectado à rede.

Outro componente muito comum nos neurônios das redes neurais artificiais é o viés (bias). Tal valor é processado junto com os dados *x\*w* na função de ativação como tentativa de tornar o neurônio não tendencioso, isto é, muito apegado aos dados que recebe. Isso é de grande utilidade para que a rede neural possa ficar não enviesada, tendo um melhor desempenho com relação a resultados corretos quando em contato com dados não conhecidos, graças à capacidade de generalização obtida.

Figura 05 – Ilustração de uma possível estrutura para um neurônio artificial



Fonte: autoria própria

2.3.2 Redes Neurais Artificiais

Redes neurais artificiais são estruturas do campo da inteligência artificial que possibilitam os computadores a processar dados baseado no comportamento do cérebro humano. Ao receber um conjunto de dados específico, uma rede neural artificial é capaz de aprender com seus próprios erros e se aprimorar para melhorar sua performance e desempenho. A estrutura da rede é composta por um conjunto de neurônios artificiais agrupados em camadas interconectadas que possibilitam o computador a aprender, reconhecer padrões e tomar decisões inteligentes.

Uma rede neural simples possui camadas de três tipos: camada de entrada, camada oculta e camada de saída. A camada de entrada é onde se encontram os neurônios responsáveis por receber os dados que serão processados pela rede. Tal camada faz o primeiro processamento desses dados e os encaminham para o próximo conjunto de neurônios. As camadas do tipo oculta recebem dados da camada de entrada ou de outras camadas ocultam processando novamente os dados e passando o resultado para outra camada. Redes neurais podem ter várias camadas desse tipo.

Por fim, o conjunto de neurônios denominado de camada de saída faz o último processamento dos dados, fornecendo o resultado final de todos os dados processados pela rede. Para problemas de classificação binária tem-se apenas nó na camada de saída, indicando a probabilidade de determinada entrada recebida pela rede ser 0 ou 1. Já para problemas de várias classes diferentes, tem-se vários nós nessa camada.

Existem diferentes tipos de redes neurais artificiais que são utilizados em várias áreas para reconhecimento de padrões. Um tipo específico muito utilizado para análise e processamento de imagens é denominado de Rede Neural Convolucional, comumente chamado de Conv-Net ou simplesmente CNN, utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

2.3.3 Rede Neural Convolucional

**2.5 Métricas para avaliação de desempenho**

Com o modelo classificador ajustado de acordo com a situação abordada, torna-se fundamental a realização de uma boa avaliação de seu desempenho. **O objetivo da fase de avaliação é estimar os resultados de mineração de dados de forma rigorosa e obter a confiança de que são válidos e confiáveis antes de avançar [2].** Avaliar de forma adequada permite a identificação de problemas, como sobreajuste ou excesso de generalização, por exemplo, assim como visualizar de forma geral como seria a performance do modelo quando colocado em produção na prática.

Para realizar tal processo de avaliação nos modelos criados neste trabalho, foram definidas algumas métricas utilizadas na avaliação de modelos classificadores, as quais serão abordadas logo abaixo.

2.5.1 Acurácia

A acurácia é uma das métricas mais simples de se medir e justamente por isso sua utilização é muito popular na avaliação de classificadores. Porém, por ser demasiadamente simples, tal métrica pode esconder deficiências do modelo analisado e transparecer um resultado não muito confiável. O cálculo da acurácia é dado pela divisão do número de acertos do modelo pelo número total de casos analisados, ou seja, pelo número de acertos somados com o número de erros:

Como o cálculo dessa métrica não leva em conta fatores além de acertos e erros, como o tipo de erro, por exemplo, é bastante interessante utilizar a Acurácia em conjunto com outras métricas para fazer uma avalição mais eficiente, levando em conta também os tipos de valores falsos que o modelo gera.

2.5.2 Tipos de erro

Na fase de avaliação de um modelo também pode ser interessante olhar para o desempenho do modelo com relação a erros específicos. Analisar a taxa de falso positivo, erro do tipo I, e de falso negativo, erro do tipo II, permite visualizar melhor qual tipo de erro é predominante na questão, assim como ter uma ideia percentual probabilística de como o modelo em questão reagiria em situações reais com relação aos tipos de erros.

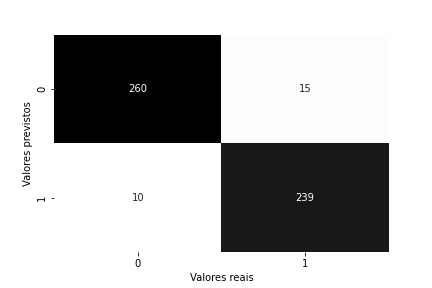
Além dos tipos de erros (falsos), tem-se também dois diferentes casos de acertos, sendo estes os verdadeiros positivos e verdadeiros negativos. É comumente utilizado para simplificar a nomenclatura dessas métricas as seguintes siglas: FN para falso negativo, TP para verdadeiro positivo, TN para verdadeiro negativo e FP para falso positivo.

2.5.3 Matriz de confusão

A matriz de confusão é uma métrica bastante utilizada na avaliação de classificadores pois ela fornece uma visão sobre a confusão entre as classes que um determinado classificar realizou na análise de casos passados para ele. Uma matriz de confusão é uma matriz de dimensão *n* x *n* sendo que *n* é o número de classes do problema abordado.

**Uma matriz de confusão separa as decisões tomadas pelo classificador, tornando explícito como uma classe está sendo confundida com outra. Desta forma, diferentes tipos de erros podem ser tratados separadamente [2]**. Na matriz de confusão temos dois tipos de acertos e erros, os verdadeiros positivos (TP) e negativos (TN), e os falsos positivos (FP) e negativos (FN), respectivamente. Valores verdadeiros ocorrem quando o modelo classifica corretamente valores negativos (0) ou positivos (1) e valores falsos ocorrem quando se tem a classificação incorreta desses mesmos valores, negativos ou positivos.

Figura 06 – Exemplo de matriz de confusão para um classificador binário em que as classes são rotuladas como 0 (negativo) e 1 (positivo). No eixo vertical tem-se a rotulação 0 ou 1 para os valores previstos pelo modelo e no eixo horizontal, a rotulação dos valores reais



Fonte: autoria própria

2.5.4 Taxa de FP, taxa de TP e Curva ROC

A taxa de FP, ou FPR, mede a fração dos valores negativos que foram previstos incorretamente, julgados como positivos pelo classificador em questão. Para realizar o cálculo dessa métrica, a seguinte equação é utilizada:

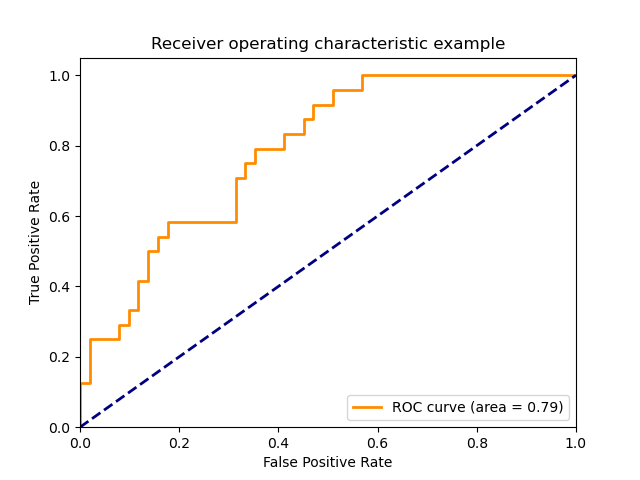
A taxa de TP, ou TPR, mede a fração dos valores positivos que foram previstos de forma correta, julgados também como positivos pelo modelo. O cálculo da TPR é feito da seguinte forma:

É sempre fundamental que sejam analisadas ambas as métricas descritas acima em conjunto, pois assim torna-se possível ter um diagnóstico confiável e saber se o modelo está extremamente tendencioso ou não. Por exemplo, em uma situação em que determinado classificador rotula sempre todos os dados como sendo de uma classe positiva, sua TPR terá valor máximo (1.0), pois para todo valor positivo recebido, ele acertará todos. Porém, este mesmo modelo, como consequência, errará todos os casos negativos, e isso só poderá ser enxergado se a FPR for analisada, pois seu valor também será 1.0.

Nesse cenário descrito, analisar apenas a TPR indicaria um modelo muito eficiente, já que ele não errou nenhum caso positivo que recebeu. Dessa forma, estaria sendo omitido o alto viés e a baixa capacidade de generalização do classificador em questão. Um modelo tendencioso assim possivelmente apresentaria péssimos resultados na prática.

Para facilitar a análise em conjunto de ambas as métricas, existe uma outra métrica muito poderosa denominada de curva ROC (Característica de Operação do Receptor, em português). Ela é uma ferramenta gráfica que permite verificar de forma conjunta TPR e FPR a medida que o limiar entre as classes (probabilidade que separa as classes) do modelo varia. Tal variação é feita para diferentes valores do limiar que geram diferentes valores de TPR e FPR como resultado. Estes valores formam pontos em um gráfico TPR x FPR e a junção desses pontos formam a curva ROC.

Figura 07 – Visualização gráfica de uma curva ROC (em laranja) constituída por pontos obtidos a partir de diferentes valores para o limiar entre as classes de determinado modelo preditivo. É possível visualizar também no gráfico uma curva *x = y* (em azul) de referência que indica pontos de TPR e FPR de valores iguais.



Fonte: [3.3. Métricas e pontuação: quantificando a qualidade das previsões — documentação do scikit-learn 1.1.3](https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#roc-metrics)

Outra forma de utilizar a curva ROC para avaliação de determinado modelo é calculando sua área. A partir deste processo, tem-se um número que pode variar entre 0 e 1.0, sendo que, quanto mais próximo de 1.0, mais eficiente o modelo seria, com máximo TPR e mínimo FPR. A área abaixo da curva ROC é uma métrica denominada de Pontuação AUC (área abaixo da curva, em português) ROC.

Referências

AVC

<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/a/avc>

<https://bvsms.saude.gov.br/avc-acidente-vascular-cerebral/>

<http://departamentos.cardiol.br/dha/revista/8-3/acidente.pdf>

<https://dco-unesp-bauru.github.io/tcc-bcc-2020-2/BrunaLT/thesis-BrunaLT.pdf#page=39&zoom=100,113,261>

<https://scielo.br/j/rbepid/a/KFNpCf4NCd8mhcsT4FqJsHP/?lang=pt#:~:text=Segundo%20os%20registros%20no%20Sistema,tratamento%20do%20AVC1-4>.

<https://pebmed.com.br/como-identificar-o-avc-isquemico-na-tomografia-computadorizada/>

<https://www.medway.com.br/conteudos/como-identificar-os-sinais-precoces-do-avc-na-tc/>

ML

<https://profs.info.uaic.ro/~ciortuz/SLIDES/2017s/ml0.pdf>

[1] <https://dcm.ffclrp.usp.br/~augusto/publications/2003-sistemas-inteligentes-cap4.pdf>

<https://lamfo-unb.github.io/2017/07/27/tres-tipos-am/>

<https://www.ibm.com/topics/logistic-regression>

<https://scikit-learn.org/stable/modules/linear_model.html>

<https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestClassifier.html>

<https://www.datacamp.com/tutorial/random-forests-classifier-python>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest>

https://en.wikipedia.org/wiki/Decision\_tree

DP

<https://drauziovarella.uol.com.br/corpo-humano/neuronio/#:~:text=Compartilhar-,Neur%C3%B4nios%20s%C3%A3o%20as%20c%C3%A9lulas%20que%20caracterizam%20o%20sistema%20nervoso%2C%20respons%C3%A1veis,externo%20ou%20do%20pr%C3%B3prio%20organismo>.

<https://www.gsigma.ufsc.br/~popov/aulas/rna/neuronio_artificial/index.html#:~:text=O%20neur%C3%B4nio%20artificial%20%C3%A9%20um,Esquema%20do%20neur%C3%B4nio%20biol%C3%B3gico.&text=Viu%2Dse%20o%20c%C3%A9rebro%20como%20um%20sistema%20computacional>.

<https://aws.amazon.com/pt/what-is/neural-network/#:~:text=Uma%20rede%20neural%20%C3%A9%20um,camadas%2C%20semelhante%20ao%20c%C3%A9rebro%20humano>.

<https://towardsdatascience.com/why-we-need-bias-in-neural-networks-db8f7e07cb98>

<https://arxiv.org/abs/1511.08458>

<https://www.upgrad.com/blog/basic-cnn-architecture/#:~:text=other%20advanced%20tasks.-,What%20is%20the%20architecture%20of%20CNN%3F,the%20main%20responsibility%20for%20computation>.

<https://towardsdatascience.com/convolutional-neural-networks-explained-9cc5188c4939>

<https://www.jeremyjordan.me/convnet-architectures/>

[A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks — the ELI5 way | by Sumit Saha | Towards Data Science](https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53)

Métricas de avaliação:

Livro data Science para negócios [2]

[sklearn.metrics.accuracy\_score — scikit-learn 1.1.3 documentation](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.accuracy_score.html)

[sklearn.metrics.confusion\_matrix — scikit-learn 1.1.3 documentation](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.confusion_matrix.html#:~:text=sklearn.metrics.%20confusion_matrix%20%28y_true%2C%20y_pred%2C%20%2A%2C%20labels%20%3D%20None%2C,and%20predicted%20to%20be%20in%20group%20%28j%29%20.)

[ROC Curve, a Complete Introduction | by Reza Bagheri | Towards Data Science](https://towardsdatascience.com/roc-curve-a-complete-introduction-2f2da2e0434c)

[3.3. Métricas e pontuação: quantificando a qualidade das previsões — documentação do scikit-learn 1.1.3](https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html#roc-metrics)

[Erro do tipo I – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Erro_do_tipo_I)