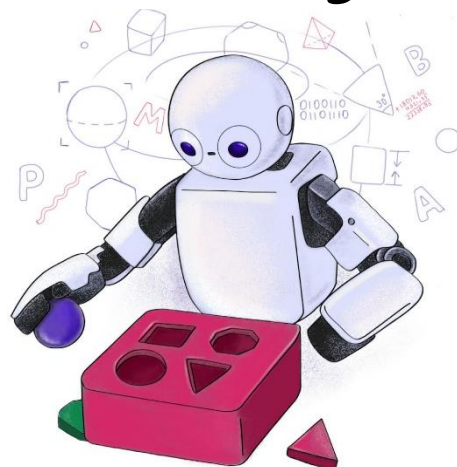


T320 - Introdução ao Aprendizado de Máquina II: *Redes Neurais Artificiais (Parte II)*



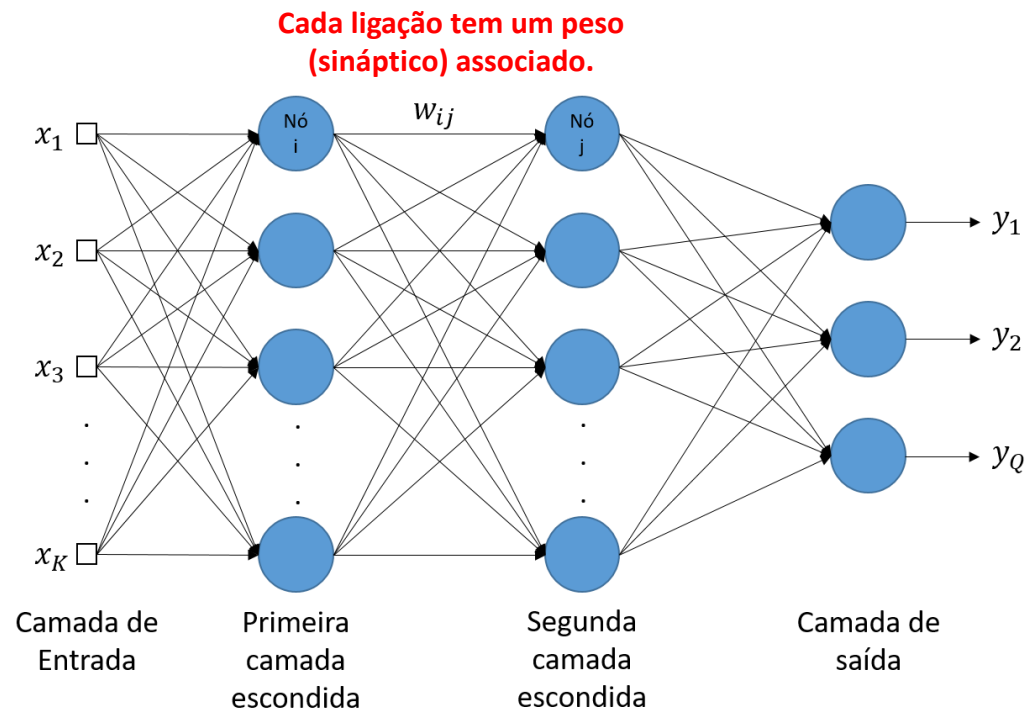
Inatel

Felipe Augusto Pereira de Figueiredo
felipe.figueiredo@inatel.br

Recapitulando

- Fizemos uma analogia entre um neurônio e os modelos de McCulloch e Pitts e do Perceptron.
- Vimos a evolução do modelo de McCulloch e Pitts para o Perceptron.
- Aprendemos suas características, diferenças e como ambos funcionam.
- Verificamos que um Perceptron é semelhante ao regressor logístico.
- Constatamos que um **único** Perceptron não é capaz de separar classes não-lineares, como, por exemplo, o problema da lógica XOR.
- Porém, quando combinamos vários deles, conseguimos criar um separador não-linear.
- Neste tópico, veremos que esta união de Perceptrons origina o que chamamos de **redes neurais artificiais (RNAs)**.

Perceptron de múltiplas camadas



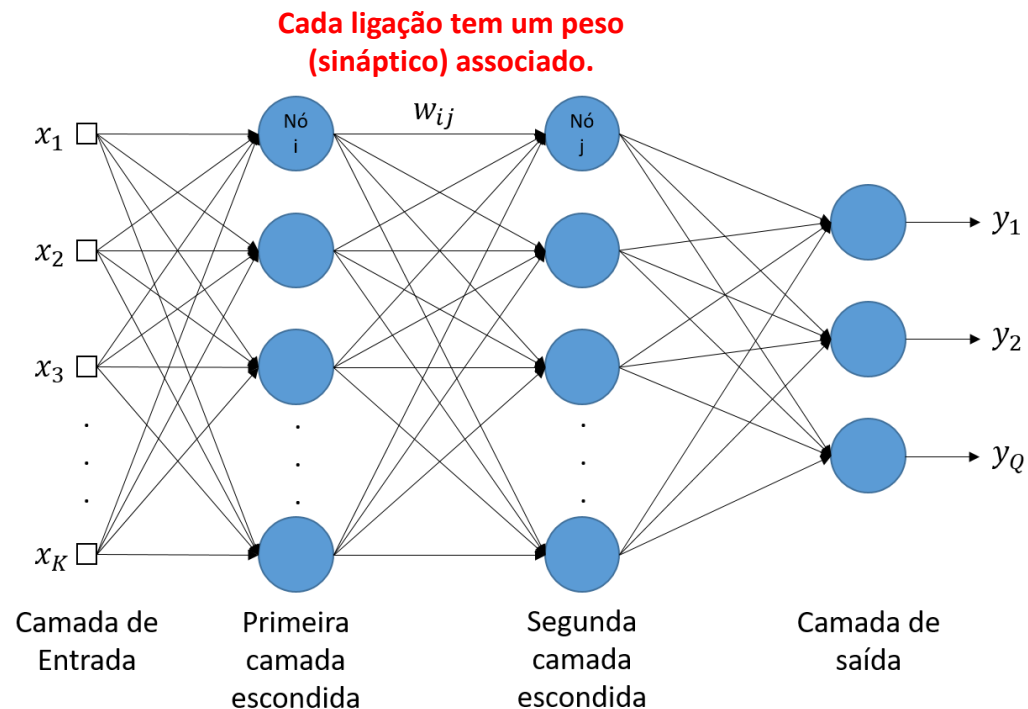
● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

W_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

- Uma **rede neural artificial (RNA)** nada mais é do que uma **combinação de neurônios** conectados entre si através de **ligações direcionadas** (ou seja, as conexões têm uma direção associada).
 - Neurônios também são chamados de **nós** ou **unidades**.
 - **Cada ligação** entre nós **possui um peso (sináptico) associado**.

Perceptron de múltiplas camadas



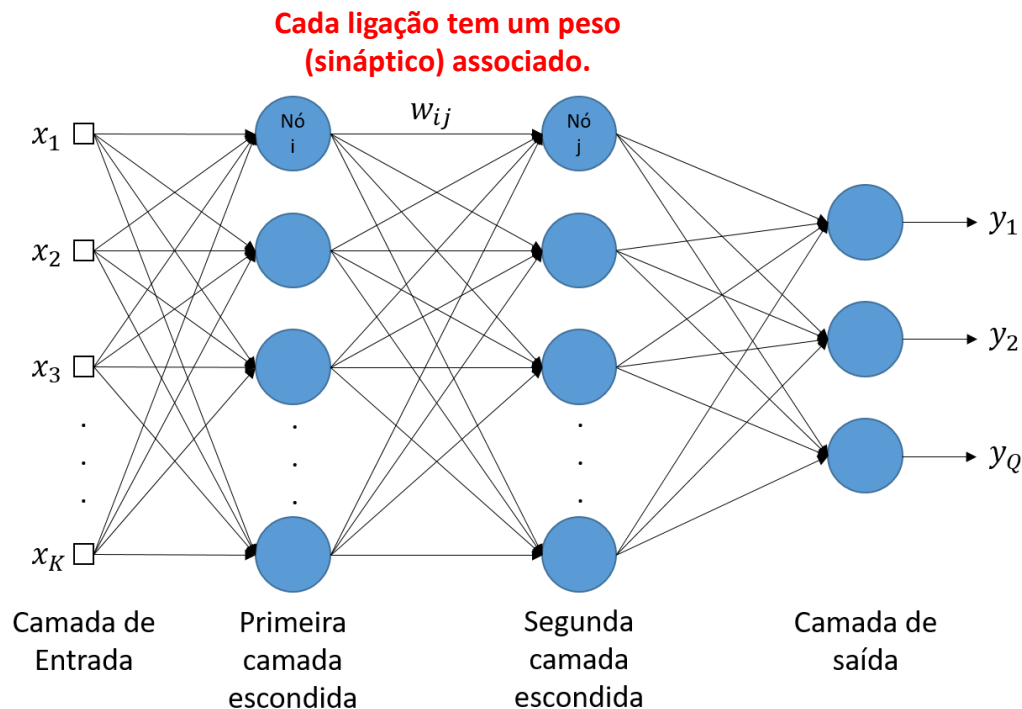
● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

- As *propriedades da rede neural* são determinadas por sua *arquitetura*, i.e., como os neurônios estão conectados, quantidade neurônios e de camadas escondidas, função de ativação, etc.

Perceptron de múltiplas camadas



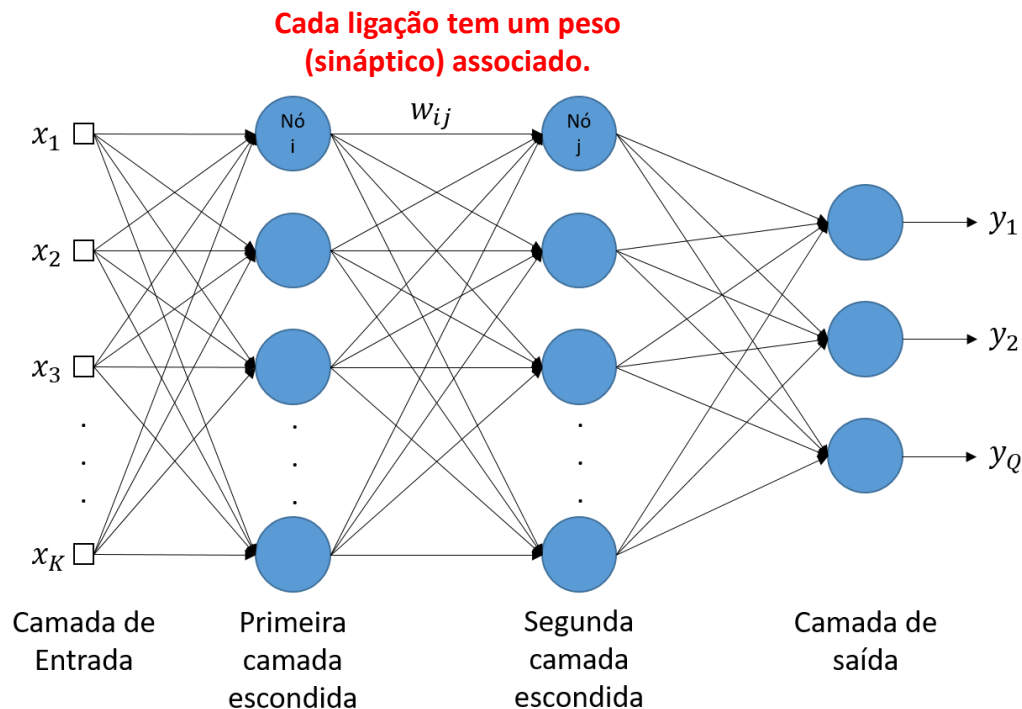
- Algumas das **limitações dos perceptrons** (e.g., classificação apenas de classes linearmente separáveis) podem ser **superadas adicionando-se camadas intermediárias de perceptrons**.
- As camadas intermediárias são também chamadas de **ocultas** ou **escondidas**.

● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

Perceptron de múltiplas camadas



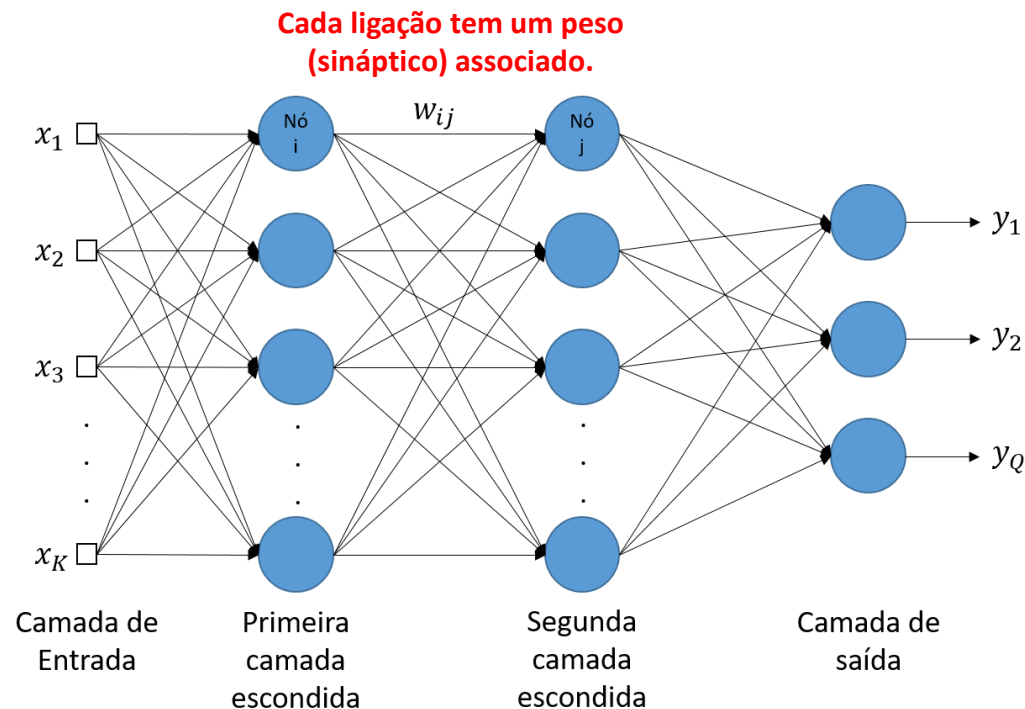
- A RNA ao lado é do tipo **densamente conectada** e de **alimentação direta**.
 - Cada uma das saídas de uma camada **se conecta a todos os nós** da camada seguinte através de pesos sinápticos.
 - Os **dados fluem através da rede em uma única direção**, da camada de entrada para a camada de saída, sem ciclos ou *loops* de retroalimentação.

● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

Perceptron de múltiplas camadas



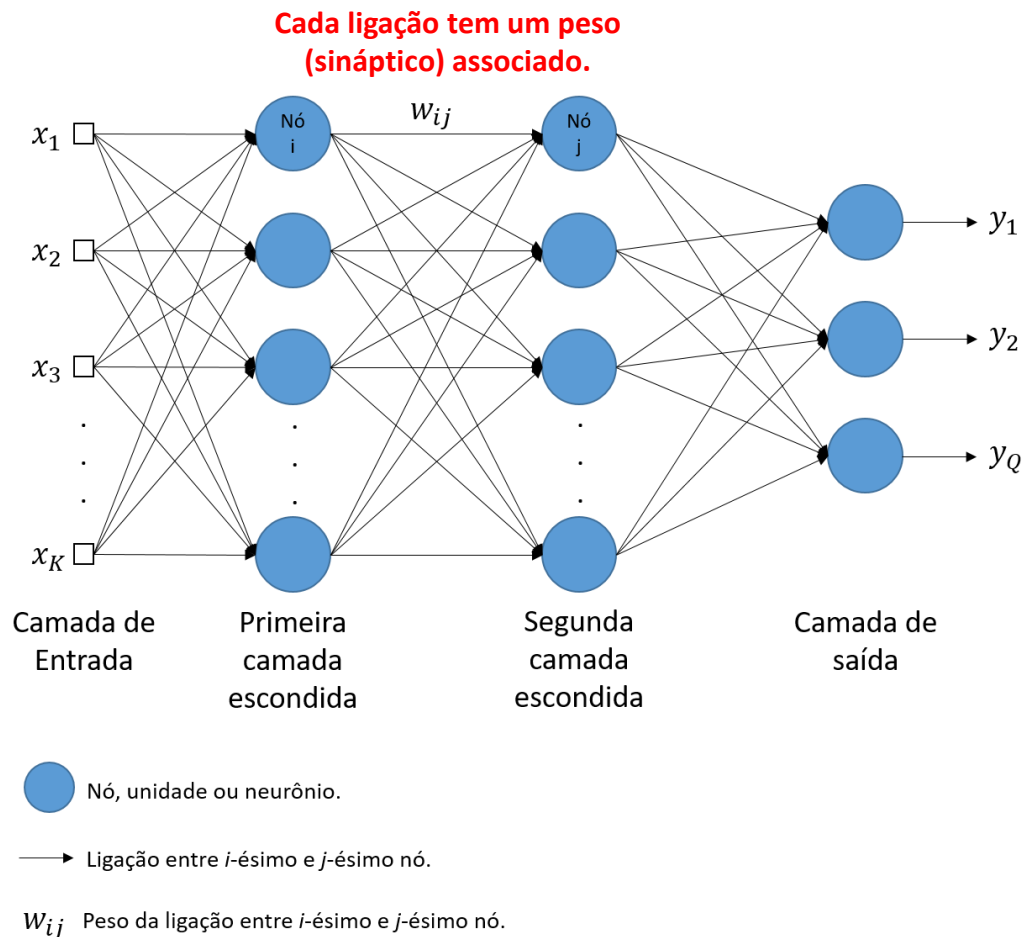
- Essa rede é chamada de **perceptron de múltiplas camadas** (do inglês, *Multilayer Perceptron* - MLP) ou de **rede densamente conectada (de alimentação direta)** (do inglês, *Dense Neural Network* - DNN).

● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

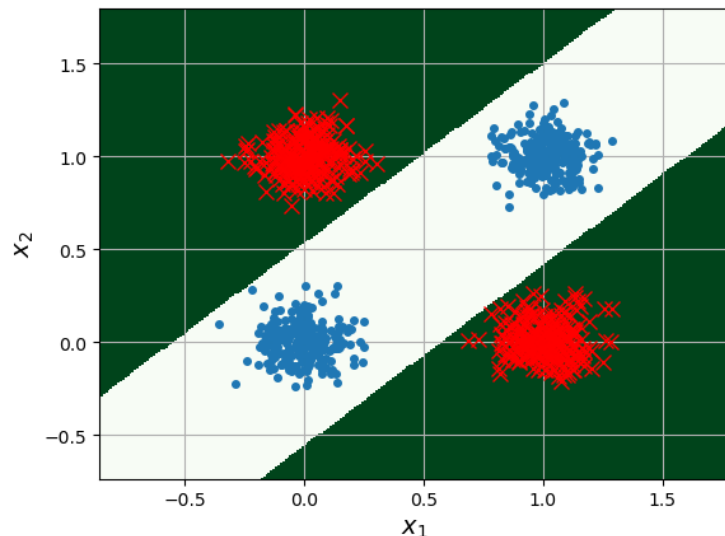
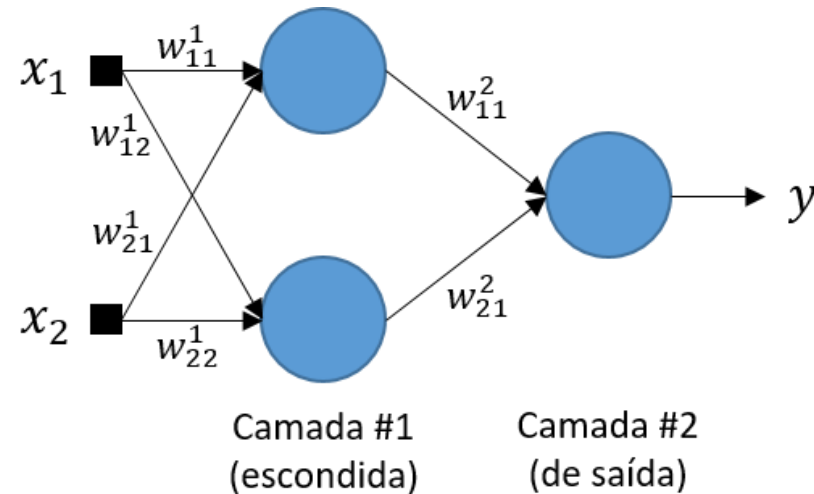
w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

Perceptron de múltiplas camadas



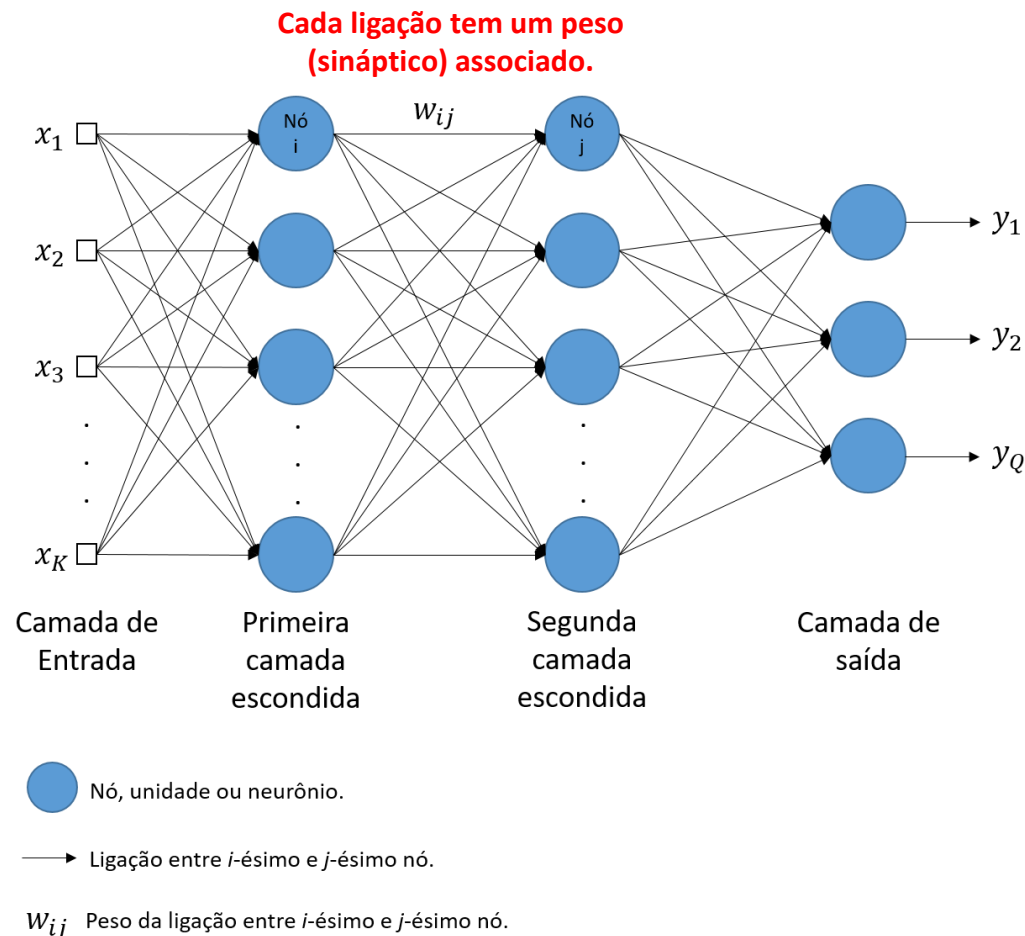
- As RNAs são o coração do ***deep learning*** ou ***aprendizado profundo***.
- O termo "***profundo***" vem fato de que essas redes podem possuir ***muitas camadas ocultas***.
- Em geral, quando uma RNA tem duas ou mais camadas ocultas, ela pode ser chamada de ***rede neural profunda*** (ou em inglês, ***Deep Neural Network - DNN***).
- A rede MLP ao lado possui duas camadas ocultas e, portanto, poderia ser chamada de DNN.

Perceptron de múltiplas camadas



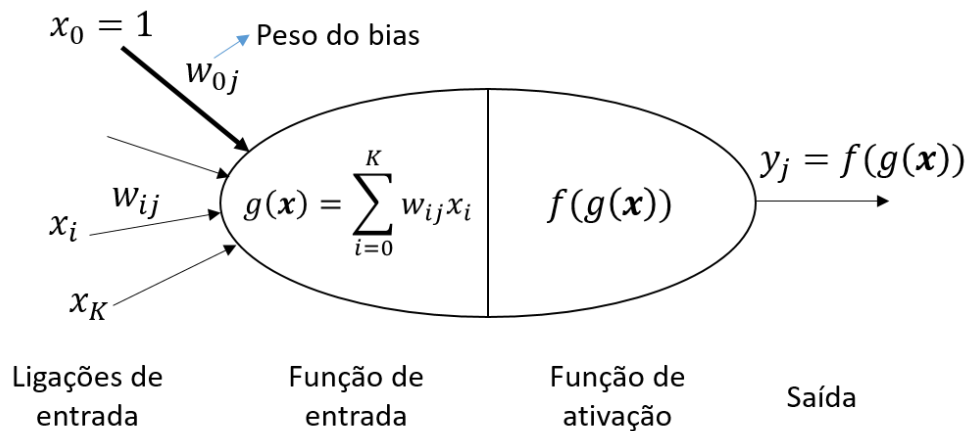
- Em particular, uma MLP com **uma camada oculta com dois nós** e **uma camada de saída com um nó** pode resolver o problema da lógica XOR.
- Lembrem-se que um único **perceptron** não é capaz de realizar essa tarefa.
- Os dois nós da camada oculta **aprendem separadores lineares** que são **combinados** para obter a **separação não linear** resultante.

Perceptron de múltiplas camadas



- Considerando **qualquer dois nós da rede**, a **ligação** do i -ésimo **nó** para o j -ésimo **nó** é feita através do **peso** w_{ij} .
- A ligação **propaga** o **signal de saída** do i -ésimo **nó** para o j -ésimo **nó**.
 - O **signal de saída** do i -ésimo nó é denotado por x_i .
- O valor do **peso** determina a **força** e o **signal** da **ligação**.
- A ligação pode ser **excitatória** ou **inibitória** dependendo do sinal do peso.

Perceptron de múltiplas camadas



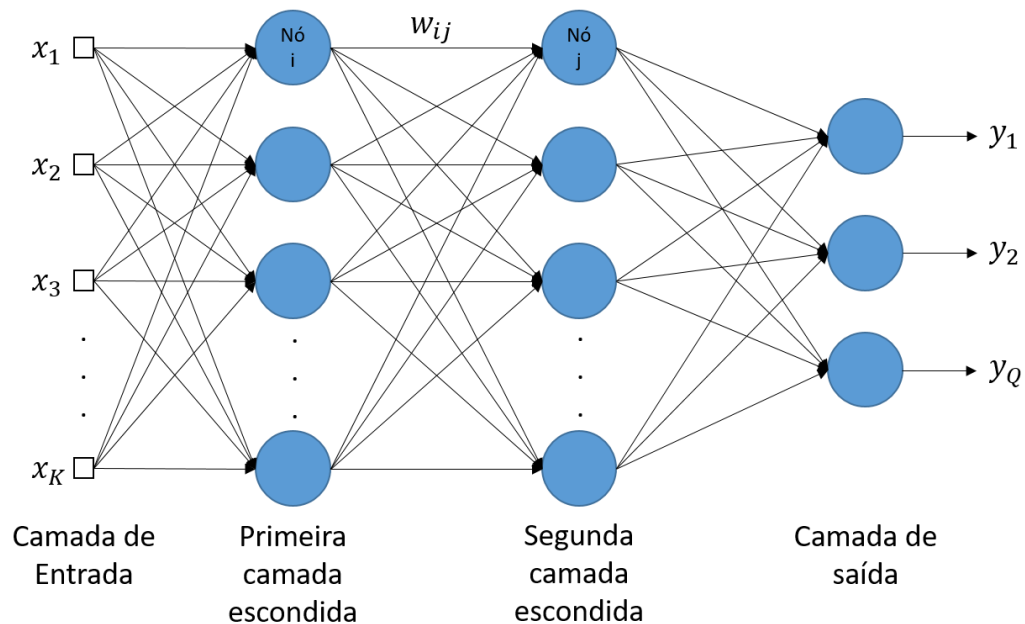
- **Cada nó** tem a entrada x_0 (i.e., o atributo de bias) sempre com valor igual a 1 e um peso associado w_{0j} , chamado de **peso de bias**.
 - Ou seja, a entrada x_0 **não está conectada a nenhum outro nó**.
- O j -ésimo **nó** calcula a **soma ponderada** de suas entradas, x_i

$$g(x) = \sum_{i=0}^K w_{ij}x_i = \mathbf{w}^T \mathbf{x},$$

e, em seguida, aplica uma **função de ativação** (i.e., de limiar), $f(\cdot)$, à soma para gerar sua saída

$$y_j = f(g(x)).$$

Perceptron de múltiplas camadas



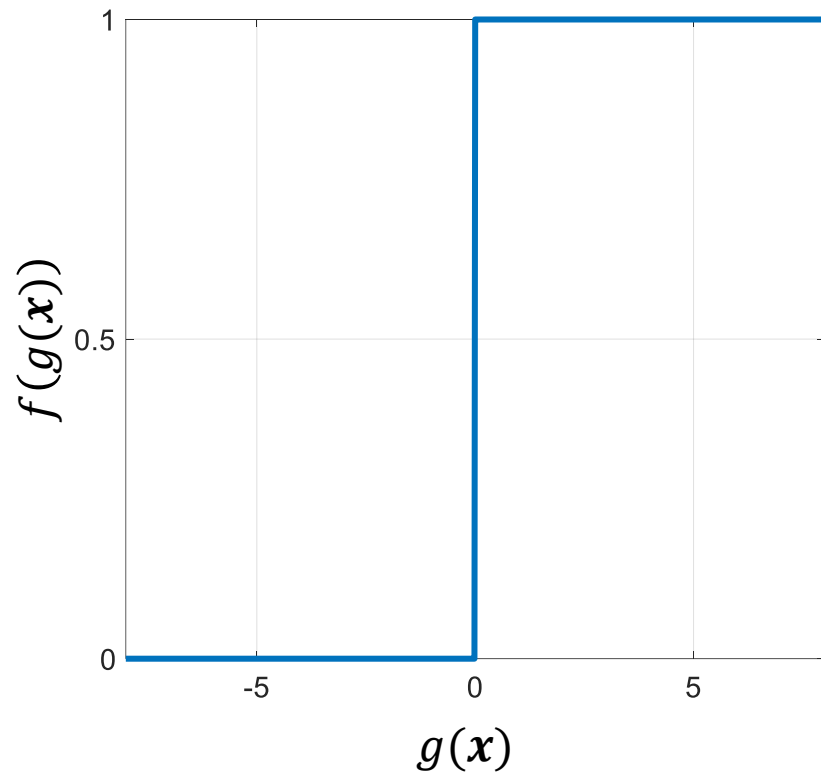
● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

- Existem vários tipos de **funções de ativação** que podem ser utilizadas pelos **nós** de uma rede neural.
- Cada camada pode usar funções de ativação diferentes.
- Porém, em geral, todos os nós de uma camada usam a mesma função de ativação.

Funções de ativação



- Devido a suas características, não se utiliza a ***função degrau*** como função de ativação em redes neurais.
 - Derivada sempre igual a zero, exceto na origem, onde ela é indeterminada.
- Até o surgimento das ***redes neurais profundas***, a regra era utilizar as ***funções logística*** ou ***tangente hiperbólica***, que são ***versões suavizadas da função degrau***.
 - Essas funções ***são contínuas e possuem derivada definida e diferente de 0 em todos os pontos***.

Função logística

- A saída de um nó com **função de ativação logística** (ou sigmoide) tem a seguinte expressão

$$y_j = f(g(\mathbf{x})) = \frac{1}{1 + e^{-g(\mathbf{x})}},$$

onde $g(\mathbf{x})$ é a **combinação linear das entradas do nó**.

- Sua derivada é dada por

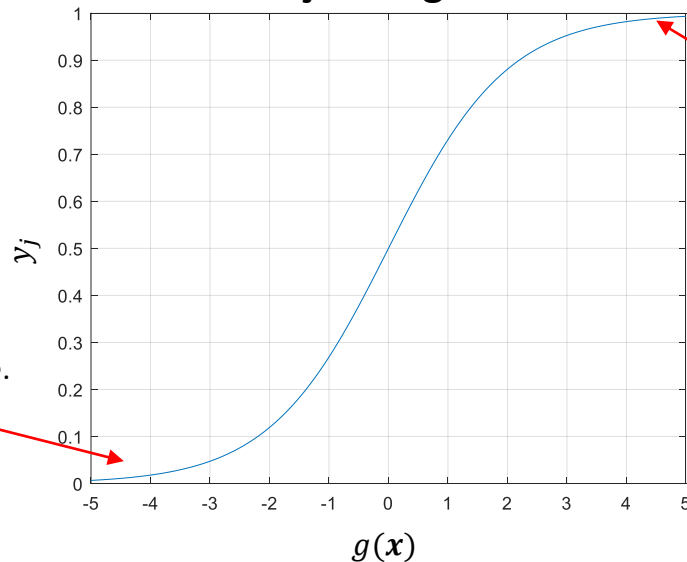
$$\frac{dy_j}{dg(\mathbf{x})} = \frac{df(g(\mathbf{x}))}{dg(\mathbf{x})} = y_j(1 - y_j) \geq 0.$$

- A derivada será importante durante o processo de aprendizado da rede neural.

Função logística e sua derivada

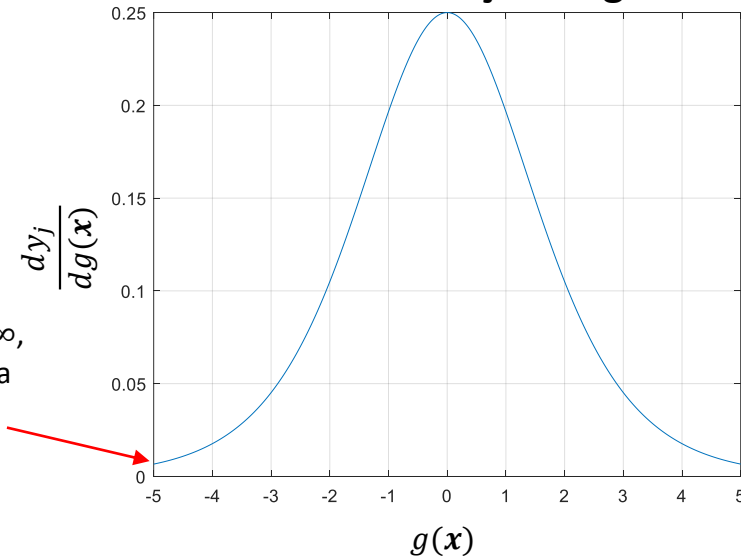
- Percebam que o valor da derivada **sempre será menor do que 1, sendo no máximo igual a 0.25 quando $g(x) = 0$.**

Função Logística



saturação:
valor de $y_j \rightarrow 1$
quando $g(x) \rightarrow \infty$.

Derivada da Função Logística



Quando $g(x) \rightarrow \infty$,
 $y_j \rightarrow 1$ e a derivada
tende a 0.

Função tangente hiperbólica

- A saída de um nó com **função de ativação tangente hiperbólica** tem sua expressão dada por

$$y_j = f(g(\mathbf{x})) = \tanh(g(\mathbf{x})) = \frac{e^{g(\mathbf{x})} - e^{-g(\mathbf{x})}}{e^{g(\mathbf{x})} + e^{-g(\mathbf{x})}}.$$

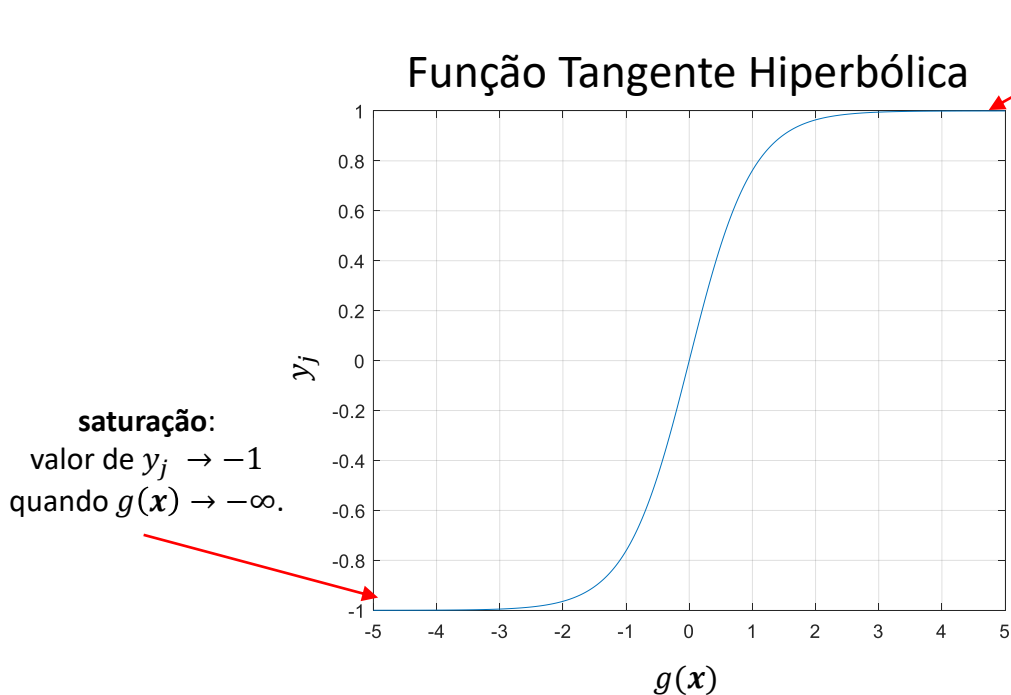
onde $g(\mathbf{x})$ é a **combinação linear das entradas do nó**.

- Sua derivada é dada por

$$\frac{dy_j}{dg(\mathbf{x})} = \frac{df(g(\mathbf{x}))}{dg(\mathbf{x})} = 1 - \tanh^2(g(\mathbf{x})) \geq 0.$$

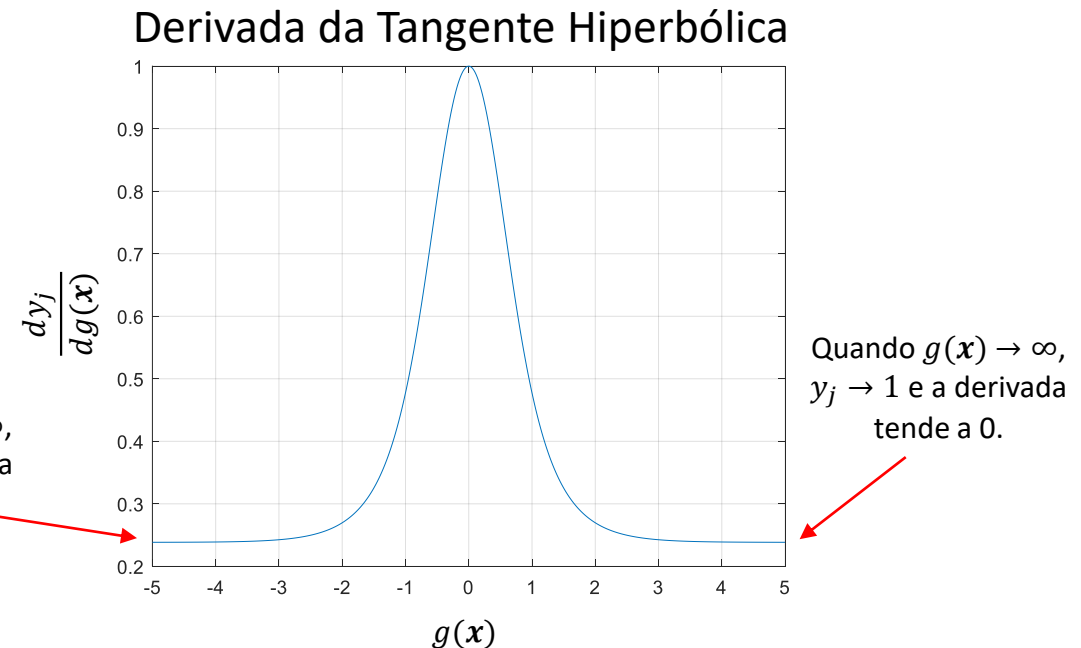
Função tangente hiperbólica e sua derivada

- A derivada é no máximo igual a 1 **exatamente** quando **quando** $g(x) = 0$, sendo menor do que 1 para todos os outros valores de $g(x)$.



saturação:
valor de $y_j \rightarrow 1$
quando $g(x) \rightarrow \infty$.

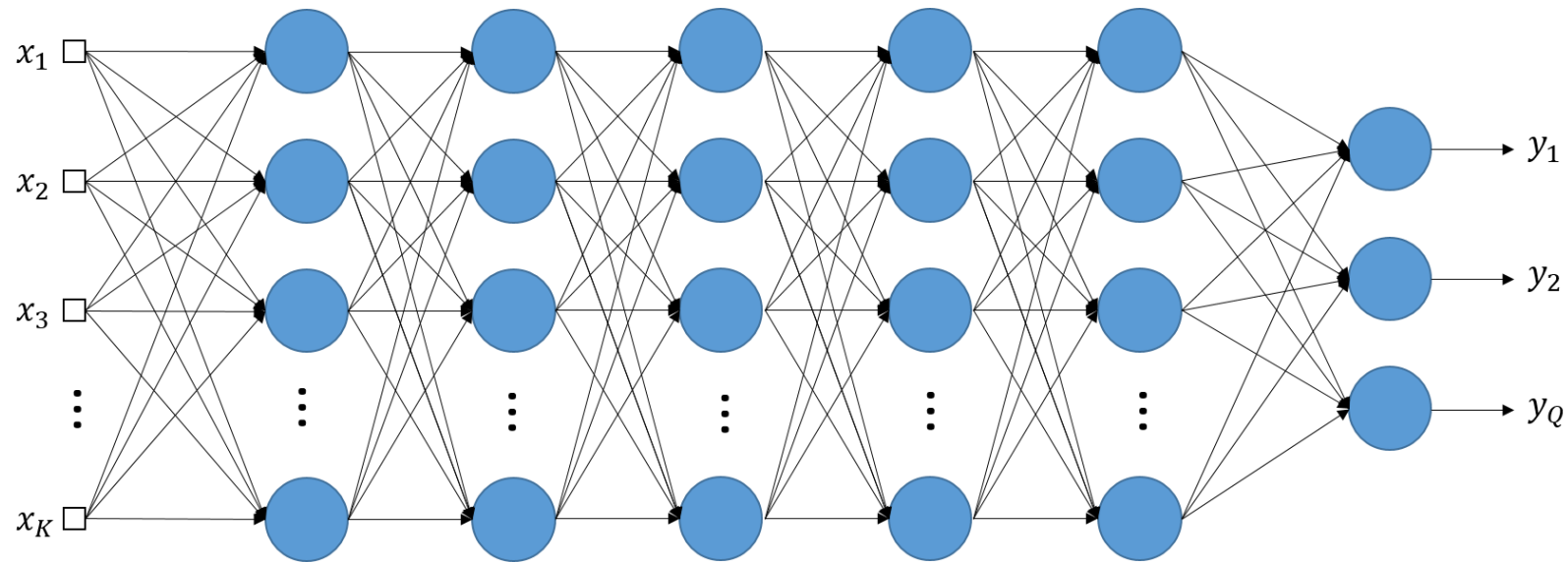
Quando $g(x) \rightarrow -\infty$,
 $y_j \rightarrow -1$ e a derivada
tende a 0.



Na sequência, veremos que esses valores de derivadas menores do que 1 causam um problema no aprendizado de redes com muitas camadas, i.e., redes profundas.

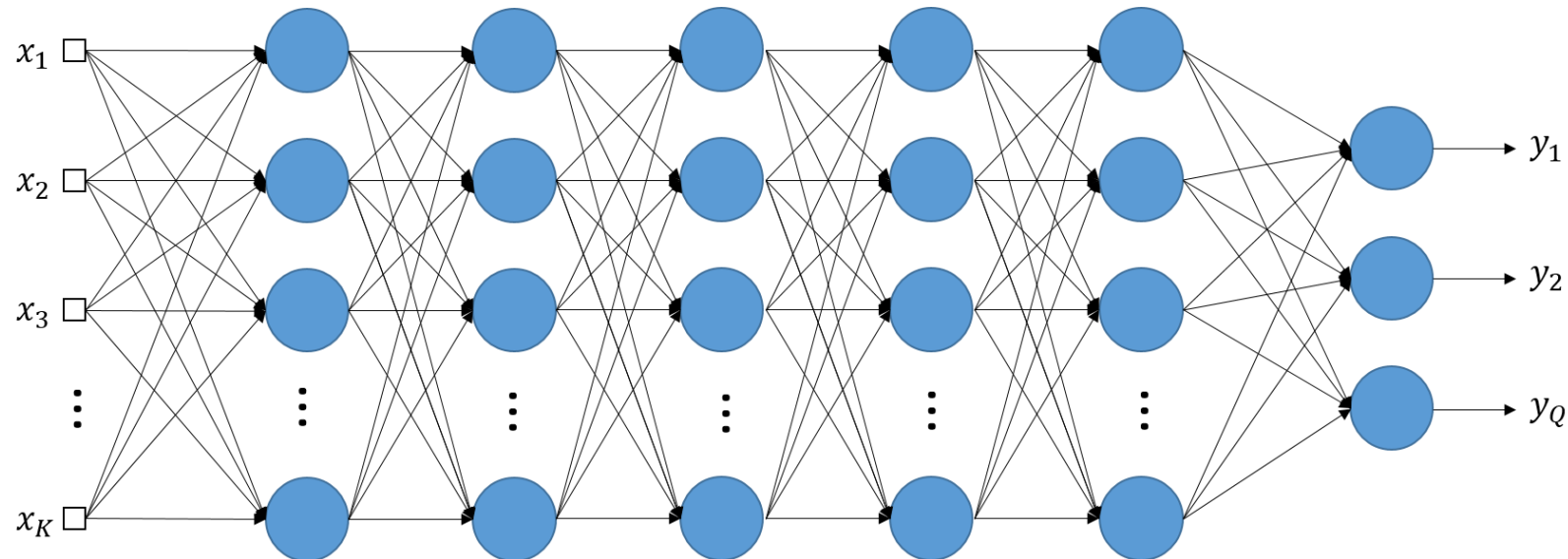
O problema da dissipação do gradiente

- É um problema encontrado quando treinamos **redes neurais profundas**, ou seja, com muitas camadas ocultas, com **métodos de aprendizado baseados no gradiente descendente** e nós usando **funções de ativação sigmoide ou tangente hiperbólica**.



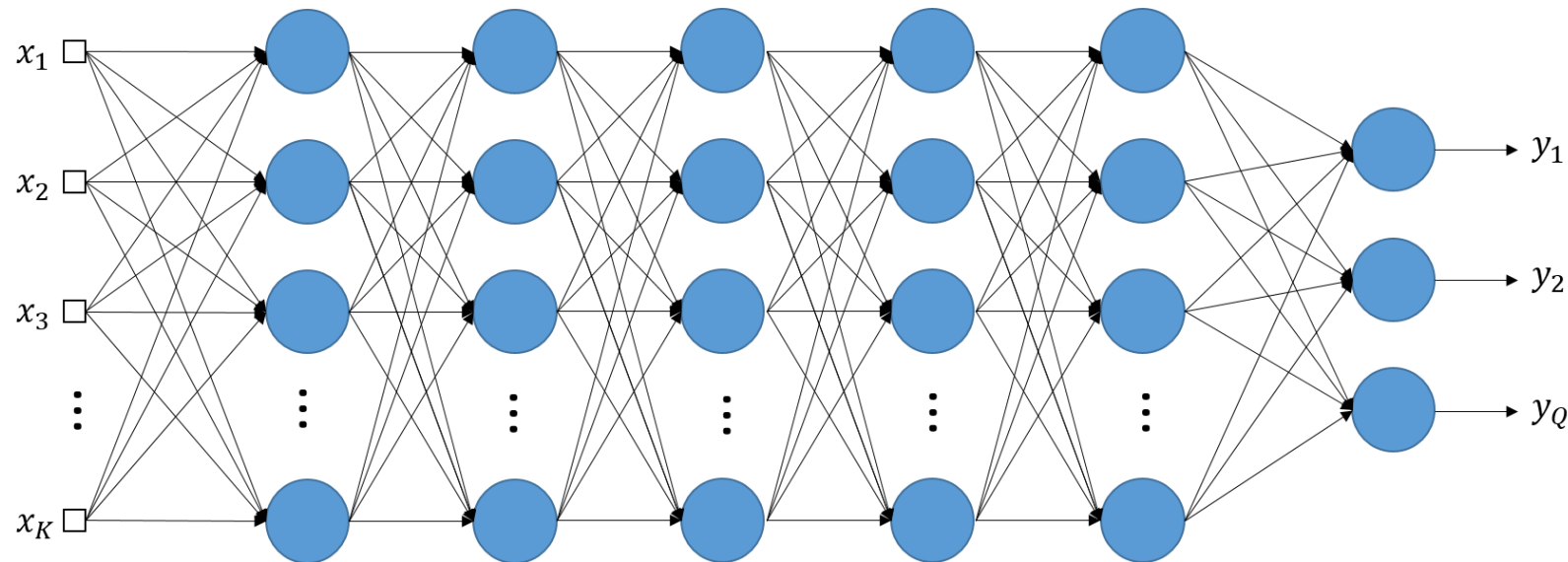
O problema da dissipação do gradiente

- Ocorre devido à natureza do **algoritmo de retropropagação**, que é usado para treinar a rede neural.
 - Para atualizar os pesos de nós das camadas ocultas, calcula-se a derivada do erro de saída em relação àquele peso e, para isso, usamos a **regra da cadeia**.
 - Ou seja, o algoritmo **propaga o erro de saída para as camadas ocultas** usando a **regra da cadeia**.



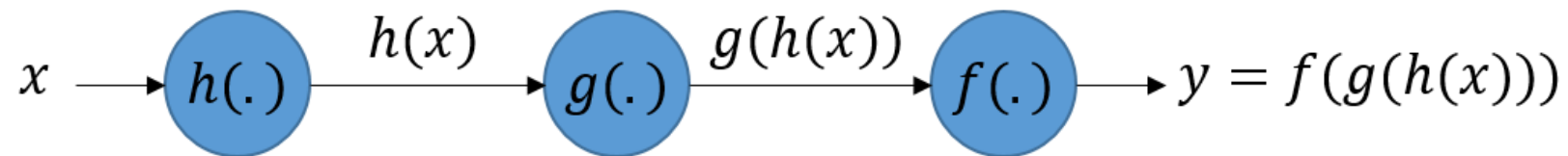
O problema da dissipação do gradiente

- Em suma, problema da dissipação do gradiente faz com que o **vetor gradiente se torne cada vez menor** conforme ele é calculado para as camadas próximas à entrada da rede, levando a uma **atualização muito pequena ou até inexistente** dos pesos destas camadas.



Regra da cadeia

- Durante o treinamento, para **atualizar os pesos dos nós de cada camada** da rede, o **algoritmo de retropropagação** calcula os vetores gradiente em relação aos pesos dessas camadas através da **regra da cadeia**.
- Vejamos o exemplo abaixo com 3 nós e pesos das ligações iguais a 1.
 - **OBS.:** As funções $f(\cdot)$, $g(\cdot)$, e $h(\cdot)$ podem ser interpretadas como sendo as funções de ativação dos nós.



- Como calculamos a derivada de y em relação à x ?

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial f(g(h(x)))}{\partial x} = \frac{\partial f(g(h(x)))}{\partial g(h(x))} \frac{\partial g(h(x))}{\partial h(x)} \frac{\partial h(x)}{\partial x}.$$

Regra da cadeia

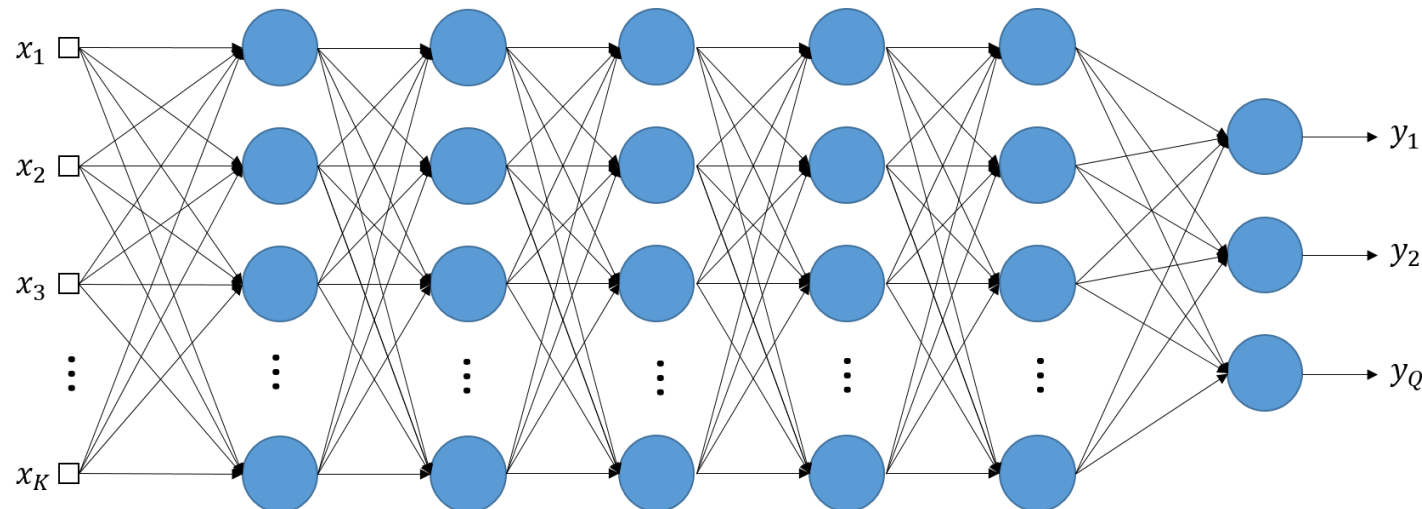
- Em outras palavras, devido à regra da cadeia, o **vetor gradiente** para a **atualização dos pesos de uma dada camada** da rede inclui o **produto das derivadas das funções de ativação dos nós desde a camada de saída até a camada desejada**.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial f(g(h(x)))}{\partial x} = \frac{\partial f(g(h(x)))}{\partial g(h(x))} \frac{\partial g(h(x))}{\partial h(x)} \frac{\partial h(x)}{\partial x}.$$

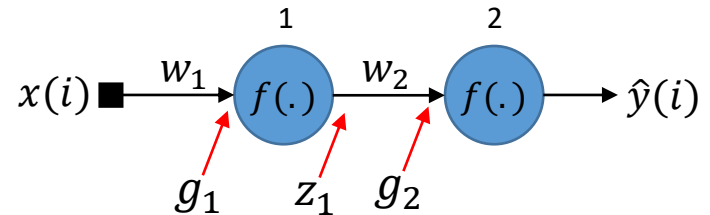
- Lembrem-se que as **funções de ativação**, como **tangente hiperbólica** ou **logística**, têm derivadas no intervalo de 0 até 1.
- Portanto, a multiplicação de vários termos menores do que 1 tende a 0 conforme o número de camadas da rede aumenta.

O problema da dissipação do gradiente

- Em uma rede com M camadas, a **retropropagação** tem o efeito de multiplicar até M valores pequenos (i.e., derivadas parciais das funções de ativação) para calcular os vetores gradiente das primeiras camadas.
- O que significa que o **gradiente diminui exponencialmente com M** .
- Assim, os **nós das camadas iniciais aprendem muito mais lentamente do que os nós das camadas finais**, pois o **vetor gradiente** daquelas camadas é **muito pequeno**, fazendo com que a **atualização dos pesos também seja pequena**.



Dissipação do gradiente



Considerações:

- 2 x neurônios com função de ativação sigmoide, $f(\cdot)$.
- $g_1 = xw_1 \rightarrow$ entrada (i.e., ativação) do primeiro neurônio.
- $z_1 = f(xw_1) \rightarrow$ saída do primeiro neurônio.
- $g_2 = z_1w_2 = f(xw_1)w_2 \rightarrow$ entrada (i.e., ativação) do segundo neurônio.
- $\hat{y} = f(f(xw_1)w_2) \rightarrow$ saída do segundo neurônio.
- **Objetivo:** minimizar o erro quadrático médio, $J_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}(i) - y(i))^2$.

Dissipação do gradiente

- As **regras de atualização** dos dois pesos são dadas por

$$w_2 = w_2 - \alpha \frac{\partial J_e}{\partial w_2},$$

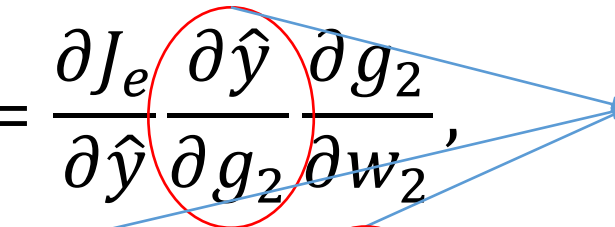
$$w_1 = w_1 - \alpha \frac{\partial J_e}{\partial w_1}.$$

- Usando a regra da cadeia, obtemos as derivadas $\frac{\partial J_e}{\partial w_1}$ e $\frac{\partial J_e}{\partial w_2}$

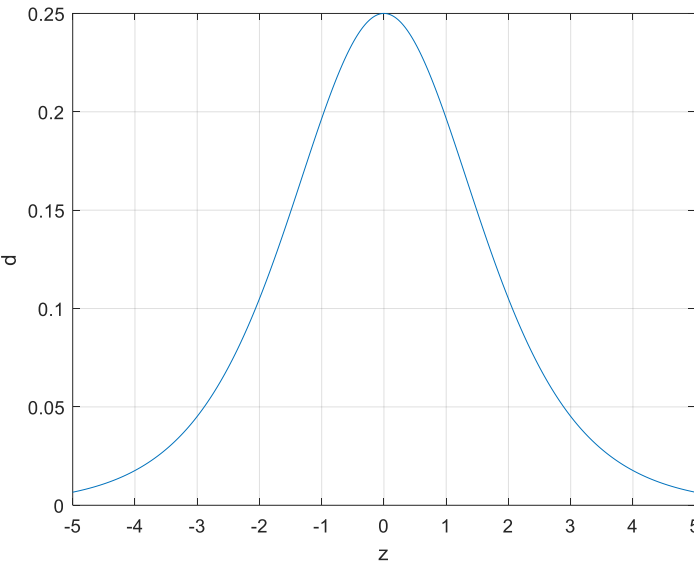
$$\frac{\partial J_e}{\partial w_2} = \frac{\partial J_e}{\partial \hat{y}} \frac{\partial \hat{y}}{\partial g_2} \frac{\partial g_2}{\partial w_2},$$

$$\frac{\partial J_e}{\partial w_1} = \frac{\partial J_e}{\partial \hat{y}} \frac{\partial \hat{y}}{\partial g_2} \frac{\partial g_2}{\partial z_1} \frac{\partial z_1}{\partial g_1} \frac{\partial g_1}{\partial w_1}.$$

Dissipação do gradiente

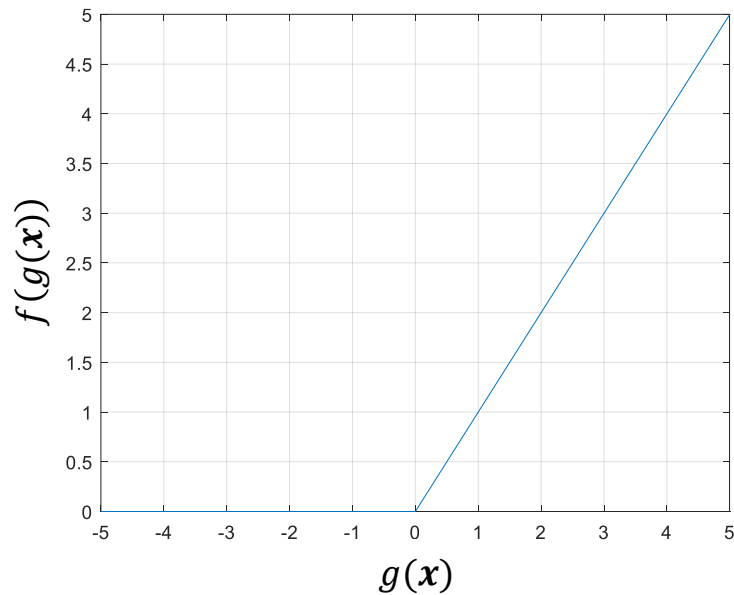
$$\frac{\partial J_e}{\partial w_2} = \frac{\partial J_e}{\partial \hat{y}} \frac{\partial \hat{y}}{\partial g_2} \frac{\partial g_2}{\partial w_2},$$
$$\frac{\partial J_e}{\partial w_1} = \frac{\partial J_e}{\partial \hat{y}} \frac{\partial \hat{y}}{\partial g_2} \frac{\partial g_2}{\partial z_1} \frac{\partial z_1}{\partial g_1} \frac{\partial g_1}{\partial w_1}.$$


Derivada da função de ativação Logística



- A derivada da função sigmoide é no máximo igual a 0.25.
- Assim, por exemplo, a primeira camada de uma rede neural com M camadas, terá as derivadas parciais da função de erro em relação a seus pesos compostas pela multiplicação de M termos no máximo iguais a 0.25.
- Isso faz com que as primeiras camadas aprendam lentamente ou nem aprendam, pois têm derivadas muito pequenas, tendendo a zero.

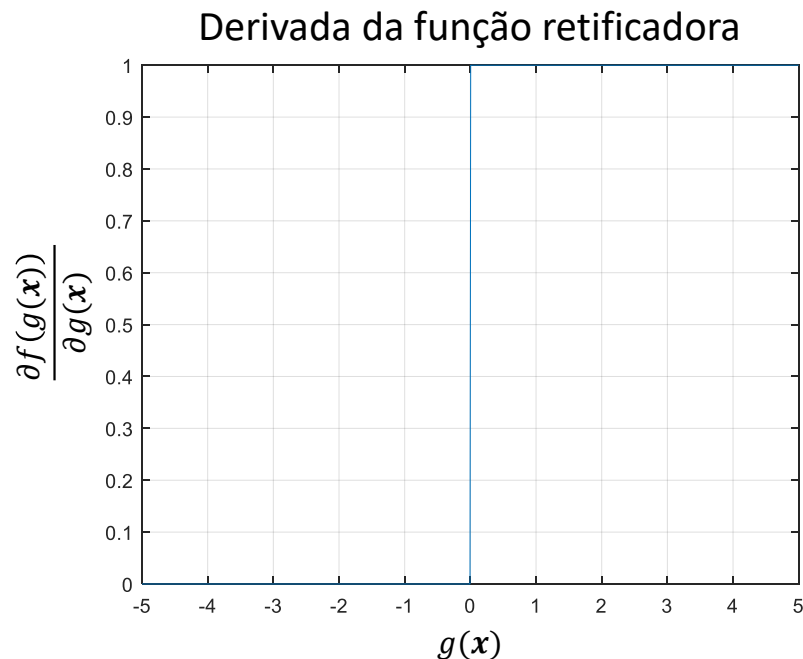
Função de ativação retificadora



$$\hat{y} = f(g(x)) = \max(0, g(x))$$

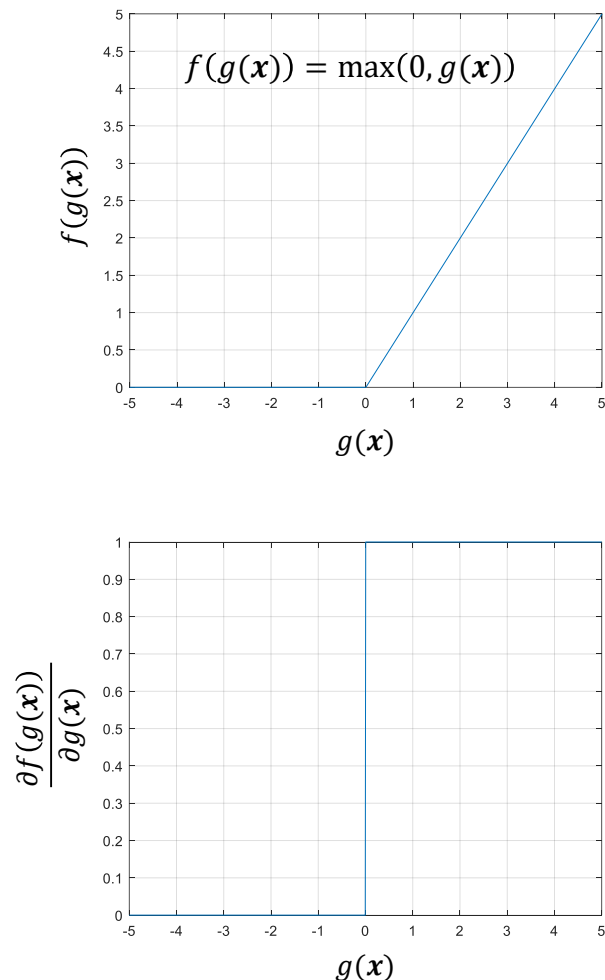
- Com o surgimento das **redes neurais profundas**, e, consequentemente, do problema do **desaparecimento do gradiente**, uma outra função de ativação, conhecida como **Rectified Linear Unit (ReLU)**, passou a ser a bastante utilizada.
- É uma **função não-linear** onde sua saída é igual 0 quando $g(x) \leq 0$ e o próprio $g(x)$ quando $g(x) > 0$.
- É uma das funções mais amplamente utilizadas em redes neurais.

Função de ativação retificadora



- Suas principais **vantagens** são a sua **simplicidade e eficiência computacional**.
 - Ela e sua derivada **são mais rápidas de se calcular** do que as funções logística e tangente hiperbólica.
- Além disso, ajuda a **minimizar o problema do desaparecimento de gradiente**, pois sua derivada é igual a 1 para $g(x) > 0$.
- Sua derivada é dada por
$$\frac{dy_j}{dg(x)} = \frac{df(g(x))}{dg(x)} = \begin{cases} 0, & \text{se } g(x) < 0 \\ 1, & \text{se } g(x) > 0 \end{cases}$$
- A derivada é indeterminada para $g(x) = 0$.

Função de ativação retificadora

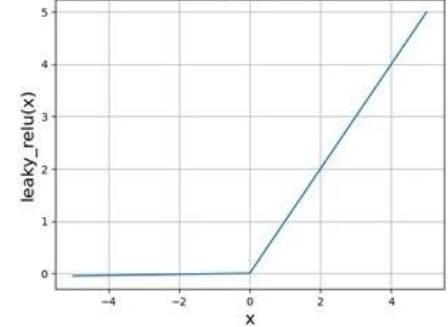


- Uma desvantagem é que ela causa o problema conhecido como **ReLU agonizante**.
- Esse **problema ocorre durante o treinamento** da rede, quando a ativação do nó, $g(x)$, é **negativa**.
- Isso faz com que sua **saída e**, consequentemente, a **derivada parcial da função de ativação sejam iguais a 0**.
- Quando isso ocorre, o **nó não tem seus pesos atualizados** durante o treinamento, **permanecendo inalterados**.

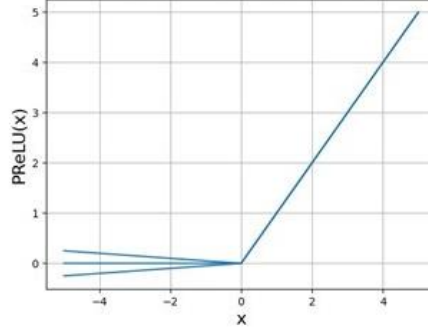
Variantes da função de ativação retificadora

- Para resolver o problema das **ReLU agonizantes**, usa-se variantes da função ReLU que possuam derivada diferente de zero para $g(x) < 0$, como, por exemplo,
 - [Leaky ReLU](#),
 - [Parametric ReLU \(PReLU\)](#),
 - [Gaussian Error Linear Unit \(GELU\)](#),
 - [etc.](#)

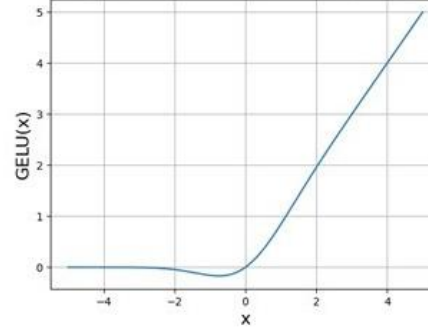
Leaky ReLU



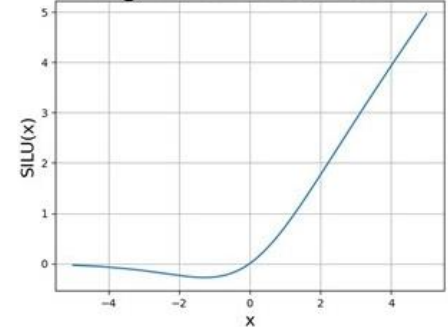
Parametric ReLU



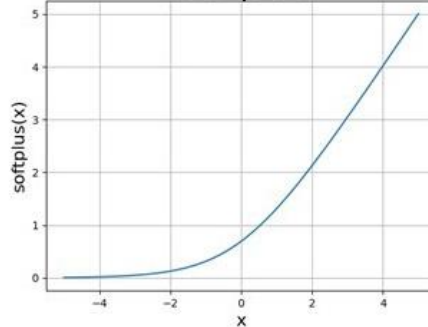
Gaussian Error Linear Unit



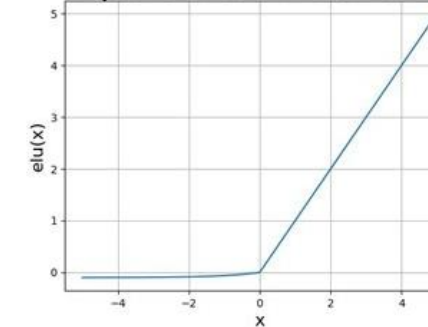
Sigmoid Linear Unit



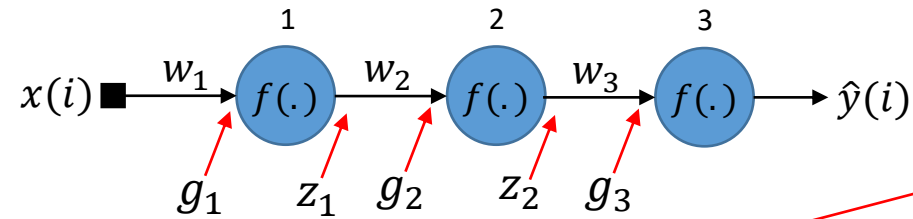
Softplus



Exponential Linear Units



Explosão do gradiente



$$\frac{\partial J_e}{\partial w_1} = \frac{\partial J_e}{\partial \hat{y}} \frac{\partial \hat{y}}{\partial g_3} \frac{\partial g_3}{\partial z_2} \frac{\partial z_2}{\partial g_2} \frac{\partial g_2}{\partial z_1} \frac{\partial z_1}{\partial g_1} \frac{\partial g_1}{\partial w_1}.$$

$$\frac{\partial g_3}{\partial z_2} = \frac{\partial f(g_2)w_3}{\partial f(g_2)} = w_3$$

$$\frac{\partial g_2}{\partial z_1} = \frac{\partial f(xw_1)w_2}{\partial f(xw_1)} = w_2$$

- Usando ReLUs, reduzimos o problema do desaparecimento do gradiente.
- Porém, caso os pesos sejam inicializados (em geral, de forma aleatória) com valores maiores do que 1, haverá a multiplicação de vários valores assim, podendo resultar em valores de gradiente muito grandes.
- Consequentemente, os pesos da rede podem sofrer atualizações extremamente grandes, o que leva a instabilidades numéricas e a um treinamento ineficaz ou até mesmo à divergência.

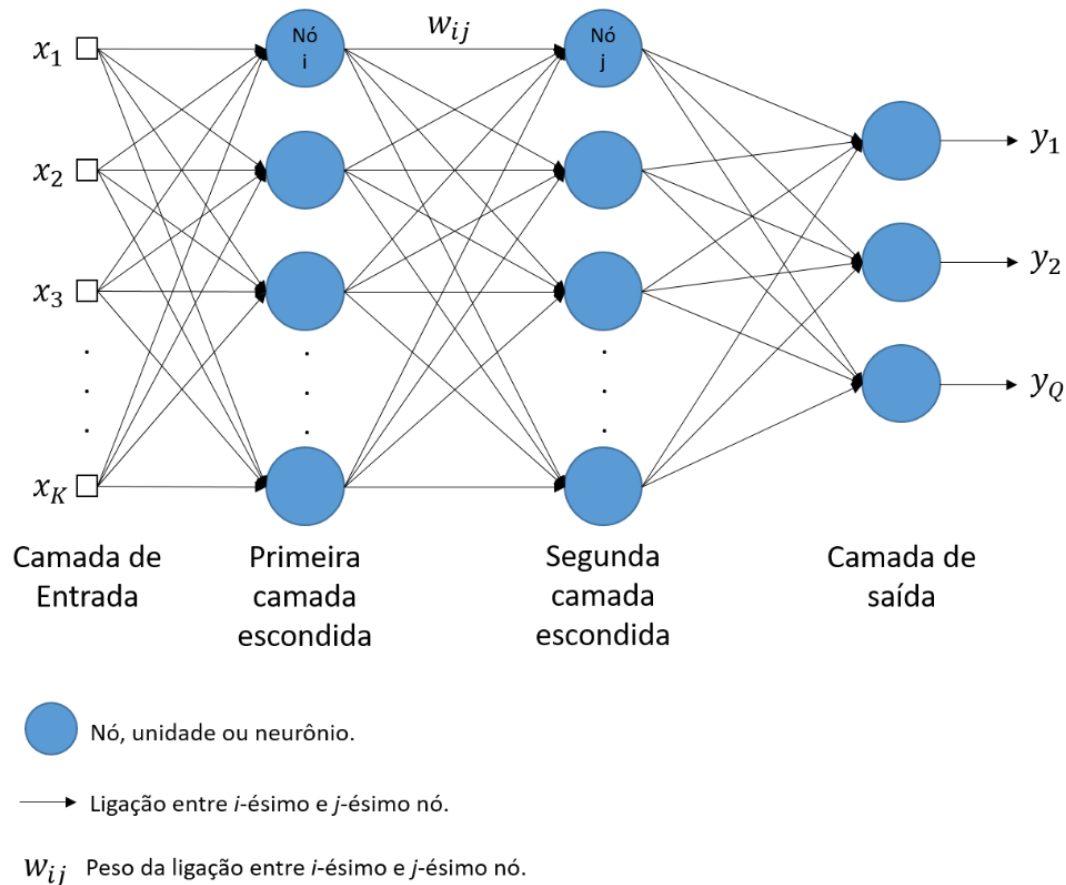
Outras formas de se minimizar a dissipação e a explosão do gradiente

- Além do uso de funções de ativação ReLU ou de suas variantes, outras formas de se minimizar esses problemas são:
 - **Inicialização apropriada dos pesos:** garante que a *variância das ativações permaneça a mesma ao longo de todas as camadas*. Isso garante que o gradiente retropropagado não tenha multiplicações com valores muito pequenos ou muito grandes em qualquer camada, ajudando a mitigar ambos os problemas.
 - **Normalização de batch:** *padroniza as ativações* das camadas da rede e, na sequência, as *desloca e escalona*, mantendo-as dentro de intervalos que minimizam ambos os problemas.
 - **Poda do gradiente:** *limita (poda) os valores dos gradientes* durante o treinamento para que eles não excedam algum limite pré-definido, mitigando apenas o problema da explosão do gradiente.

Tarefa

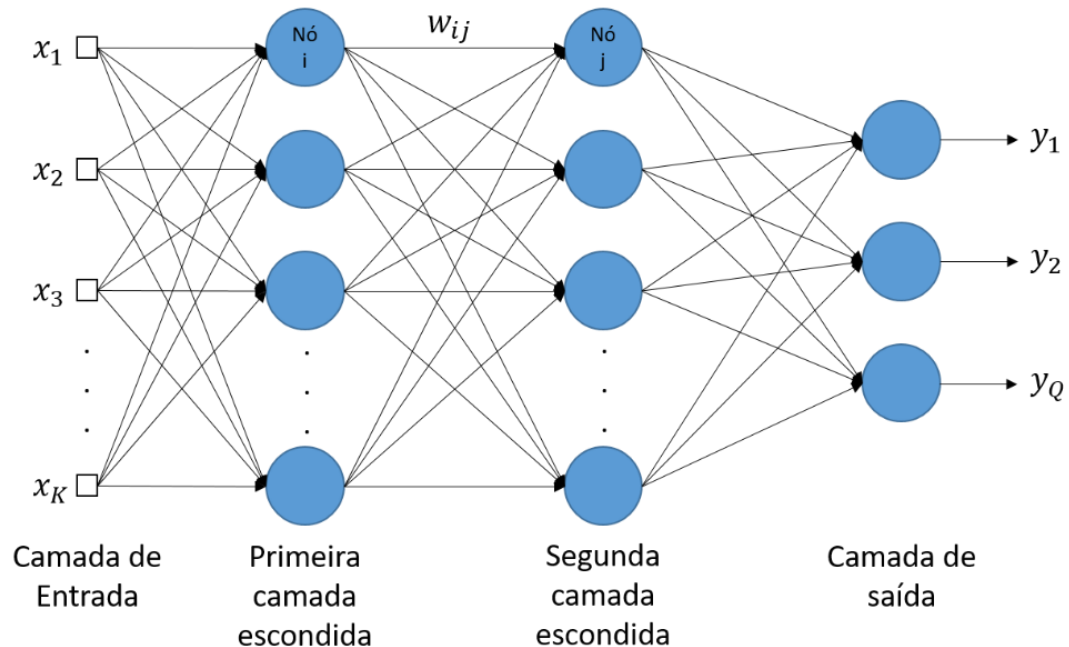
- **Quiz:** “*T320 - Quiz – Redes Neurais Artificiais (Parte III)*” que se encontra no MS Teams.

Conectando neurônios



- Os neurônios de uma rede neural podem ser conectados de forma **acíclica** ou **cíclica**.
- O termo **acíclico** se refere a conexões **sem realimentação**.
- Isso significa que a **informação flui em uma única direção**, da camada de entrada para a camada de saída.
- A rede ao lado tem conexões **acíclicas** e é conhecida como **rede densa de alimentação direta**.

Conectando neurônios



● Nó, unidade ou neurônio.

→ Ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

w_{ij} Peso da ligação entre i -ésimo e j -ésimo nó.

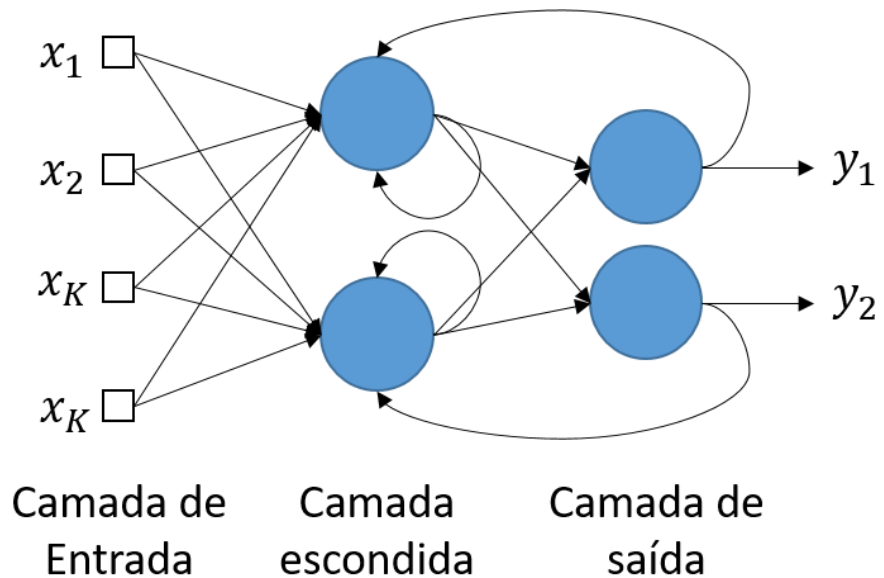
- Esse tipo de rede representa uma ***função de suas entradas e pesos atuais***

$$\mathbf{y} = f(\mathbf{x}; \mathbf{W}),$$

onde \mathbf{W} é a matriz contendo todos os pesos da rede.

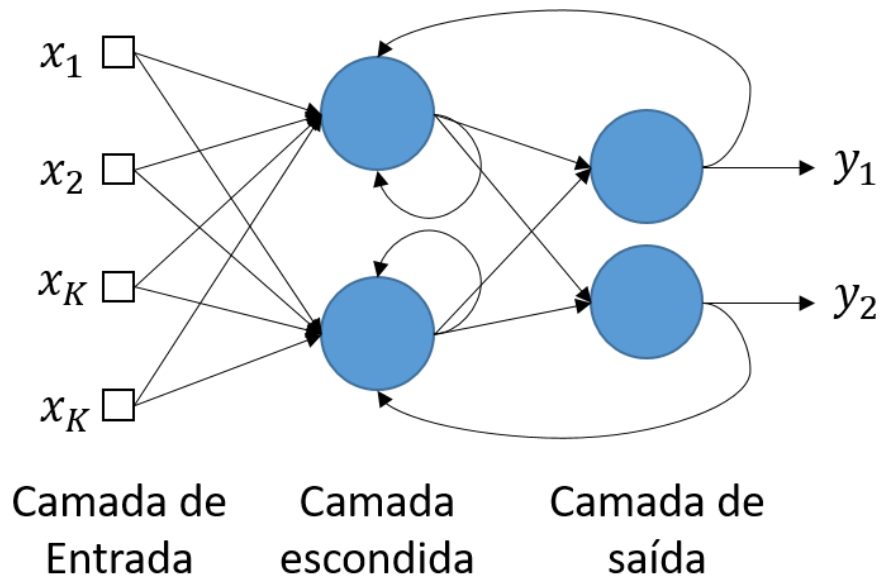
- Portanto, este tipo de rede ***não possui um estado interno, ou seja, memória.***

Conectando neurônios



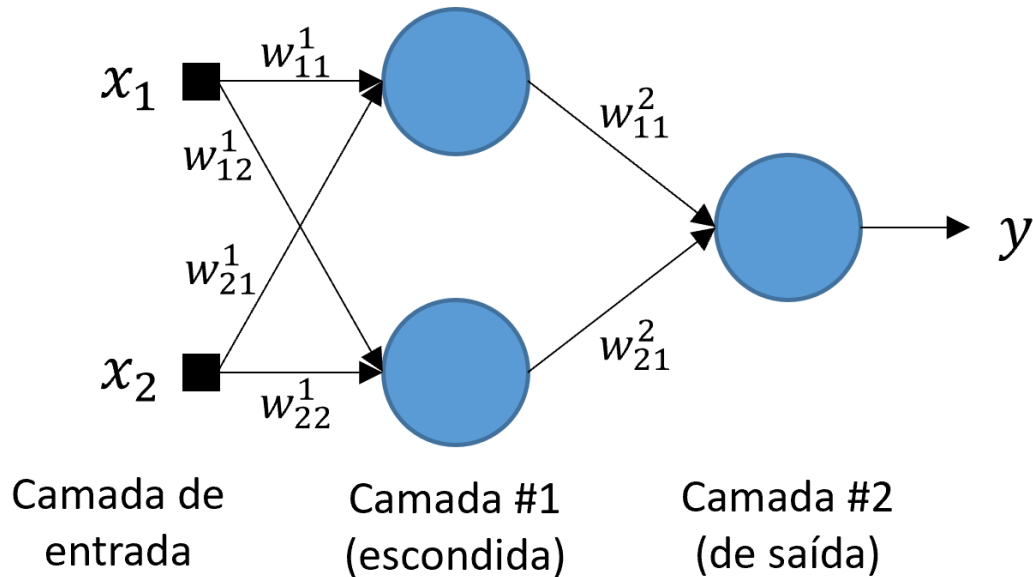
- Já o termo **cíclico** se refere a **conexões que formam ciclos**, permitindo a **realimentação** de informações.
- Redes com esse tipo de conexão são conhecidas como **redes recorrentes** ou **redes com realimentação**.
- A figura mostra que os nós da rede têm **conexões em duas direções**, desta forma, o **sinal percorre a rede nas direções direta e reversa**.

Conectando neurônios



- Esse tipo de rede forma um **sistema dinâmico** que pode atingir um estado estável, exibir oscilações ou mesmo um comportamento caótico e divergir.
- Além disso, a saída da rede é **função de suas entradas e pesos atuais e de seus estados anteriores**, ou seja, de saídas anteriores.
- Portanto, **redes recorrentes** possuem **memória**.
- Essas redes são úteis em tarefas que envolvem **dependências temporais** como previsões de séries temporais (e.g., monitoramento de sinais vitais) e processamento de linguagem natural (e.g., conversão de fala em texto).

Aproximação de funções com redes neurais



- A rede MLP da figura ao lado tem sua saída definida por

$$y = f(\mathbf{w}^T f(\mathbf{W}^T \mathbf{x})),$$

onde $f(\cdot)$ é a **função de ativação** escolhida para todos os nós, $\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11}^1 & w_{12}^1 \\ w_{21}^1 & w_{22}^1 \end{bmatrix}$ e

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} w_{11}^2 \\ w_{21}^2 \end{bmatrix}.$$

- Percebam que a saída da rede é dada pelo **aninhamento** das saídas de **funções de ativação não-lineares**.

Aproximação de funções com redes neurais

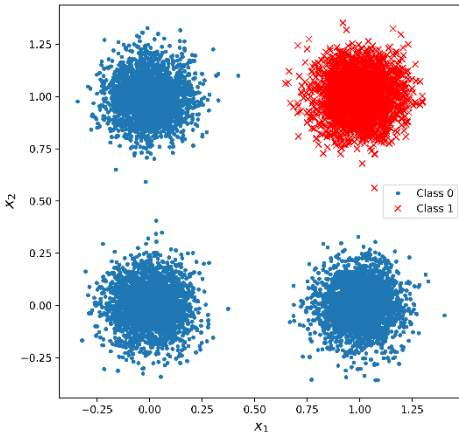
- Portanto, as redes neurais têm a **capacidade de aproximar funções altamente não-lineares**.
- Essa capacidade **depende da sua arquitetura**, incluindo o número de camadas, o número de nós (que corresponde à quantidade de pesos) e as funções de ativação empregadas.
 - A **quantidade de pesos** de uma rede está associada aos seus **graus de liberdade**, ou seja, a **capacidade da rede de aproximar diferentes tipos de funções**.
- Porém, assim como polinômios, que podem **aproximar qualquer tipo de função** (linear ou não linear) devido a seus **graus de liberdade**, as **redes neurais podem fazer o mesmo**, bastando apenas que **encontremos sua complexidade ideal**, ou seja, sua arquitetura.

Aproximação de funções com redes neurais

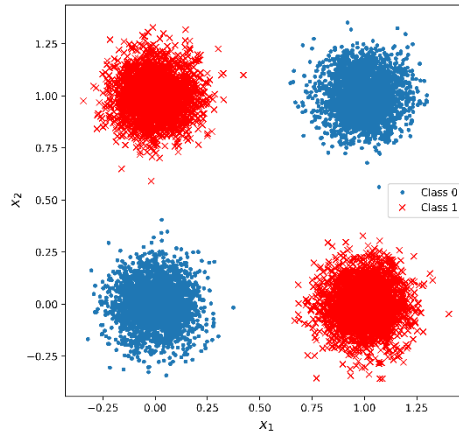
- Por exemplo, uma rede neural com **uma camada oculta** com um número **suficientemente grande de nós** pode **aproximar** praticamente qualquer **função contínua**.
- Com **duas camadas ocultas**, até **funções descontínuas** podem ser **aproximadas**.
- Portanto, dizemos que as redes neurais possuem **capacidade de aproximação universal** de funções.
- Desta forma, as redes neurais podem resolver **problemas de regressão e classificação** e uma grande gama de outros problemas.
- O desafio é encontrar a arquitetura ideal para a aproximação.
- Veremos alguns exemplos desta capacidade de aproximação a seguir.

Aproximação universal de funções em problemas de classificação

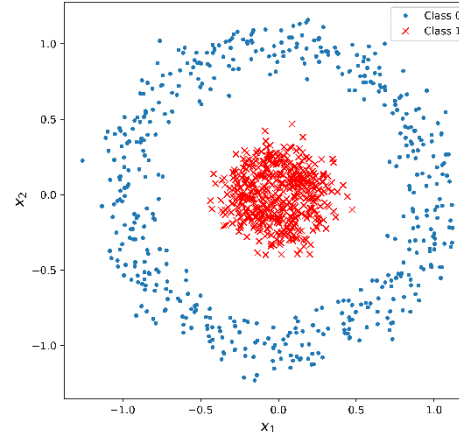
Função AND: MLP sem camada escondida, com apenas um neurônio na camada de saída.
Total: 1 nó.



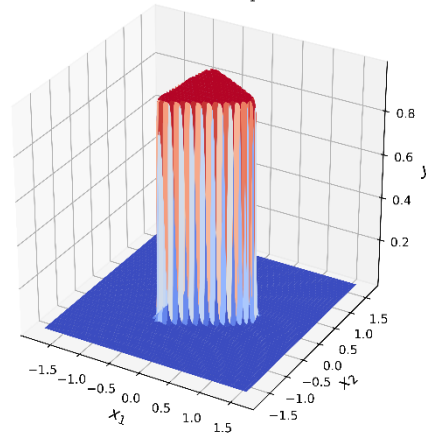
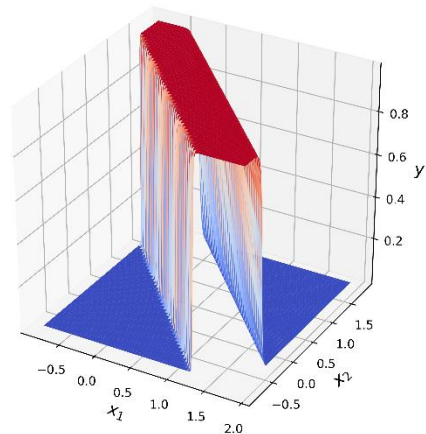
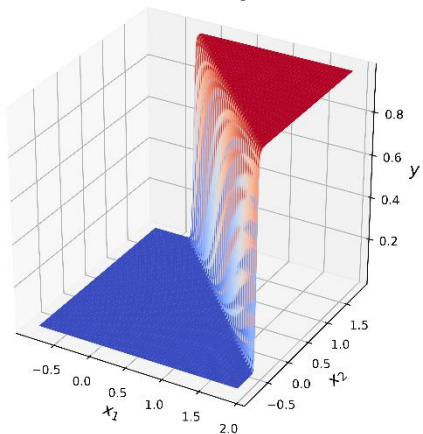
Função XOR: MLP com 1 camada escondida com 2 nós.
Total: 3 nós.



Círculos concêntricos: MLP com 1 camada escondida com 4 nós.
Total: 5 nós.

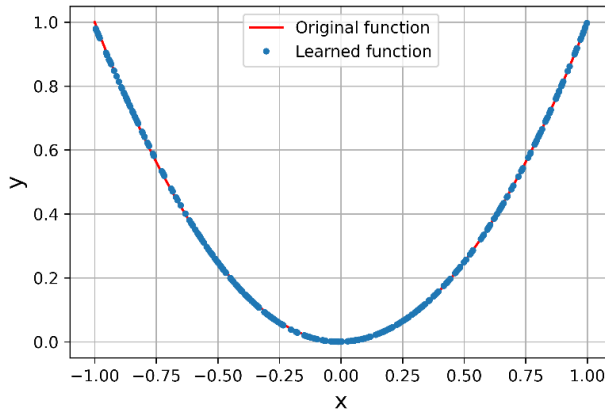


- Fig. 1: Um nó aproxima uma função de limiar suave.
- Fig. 2: Combinando duas funções de limiar suave com direções opostas, podemos obter uma função com formato de onda.
- Fig. 3: Combinando duas ondas perpendiculares, nós obtemos uma função com formato triangular.

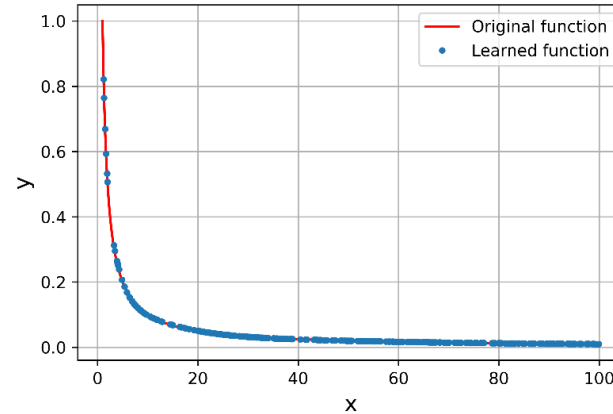


Aproximação universal de funções em problemas de regressão

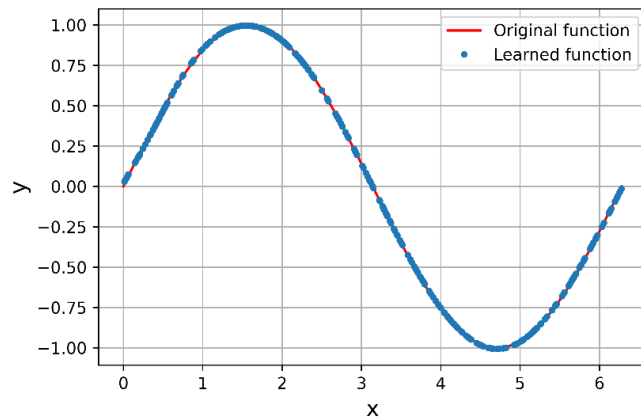
$$f(x) = x^2$$



$$f(x) = \frac{1}{x}$$



$$f(x) = \sin(x)$$



- Redes neurais podem também ser usadas para aproximar funções como as mostradas abaixo:

- $f(x) = x^2, -1 \leq x \leq 1,$
- $f(x) = \frac{1}{x}, 1 \leq x \leq 100,$
- $f(x) = \sin(x), 1 \leq x \leq 2\pi.$

Tarefas

- **Quiz:** “*T320 - Quiz – Redes Neurais Artificiais (Parte IV)*” que se encontra no MS Teams.
- **Exercício Prático:** [Laboratório #7](#).
 - Pode ser baixado do MS Teams ou do GitHub.
 - Pode ser respondido através do link acima (na nuvem) ou localmente.
 - [Instruções para resolução e entrega dos laboratórios](#).

Obrigado!

People with no idea
about AI, telling me my
AI will destroy the world



Me wondering why my
neural network is
classifying a cat as a dog..



Deep Learning



What society thinks I do



What my friends think I do



What other computer
scientists think I do



What mathematicians think I do

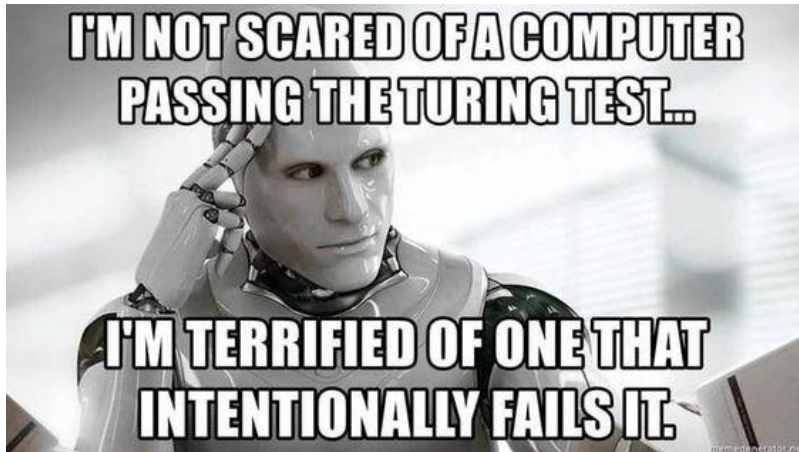


What I think I do

```
In [1]:  
import keras  
Using TensorFlow backend.
```

What I actually do

I'M NOT SCARED OF A COMPUTER
PASSING THE TURING TEST...



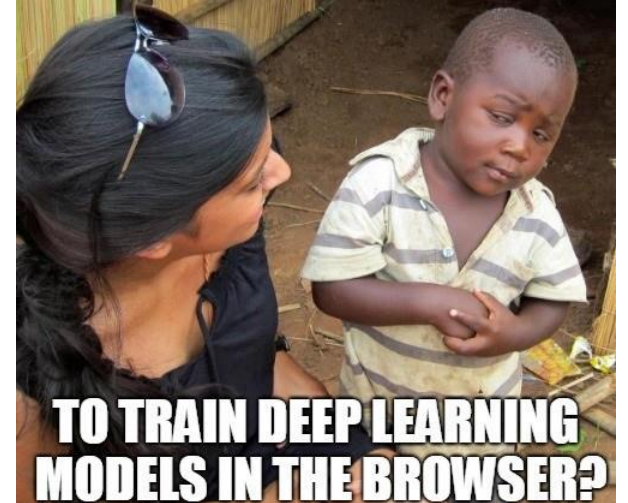
I'M TERRIFIED OF ONE THAT
INTENTIONALLY FAILS IT.

Dog



I NEED GPU
FOR MY DUMB
NEURAL NETWORK

SO YOU ARE TELLING ME



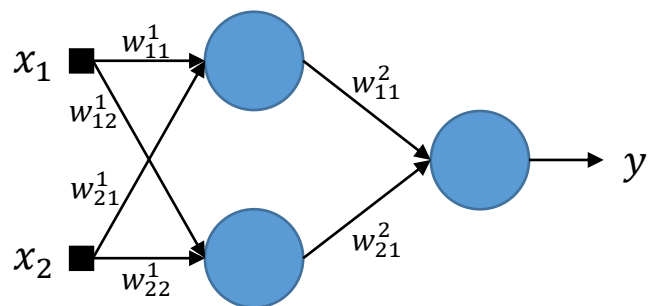
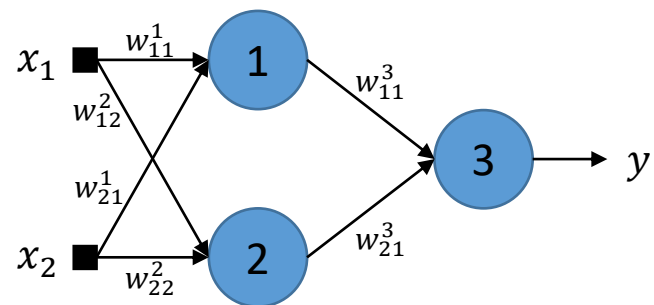
TO TRAIN DEEP LEARNING
MODELS IN THE BROWSER?

ONE DOES NOT SIMPLY

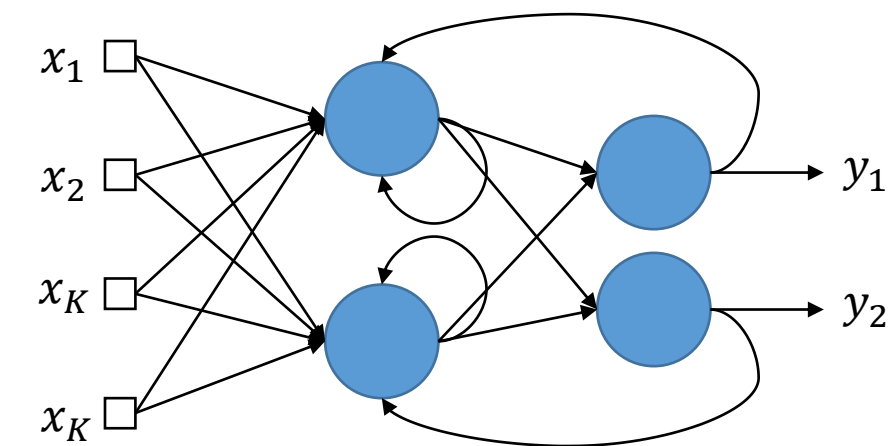


GENERATE MEMES USING DEEP
LEARNING

Figuras



Camada de entrada Camada #1 (escondida) Camada #2 (de saída)



Camada de Entrada Camada escondida Camada de saída

O problema da dissipação do gradiente

- Vamos entender esse problema através de um exemplo.
- Dada a simplificação de uma rede neural mostrada na figura abaixo, a qual contém
 - Três nós com as seguintes funções de ativação $h(\cdot)$, $g(\cdot)$ e $f(\cdot)$.
 - Pesos w , 1 e 1, conectando os três nós, respectivamente.
 - Entrada $x = 1$.
- Para atualizarmos o valor do peso w com o gradiente descendente, precisamos encontrar a derivada parcial de y em relação à w .
- Para encontrar a derivada, usamos a regra da cadeia

$$\frac{\partial y}{\partial w} = \frac{\partial f(g(h(w)))}{\partial w} = \frac{\partial f(g(h(w)))}{\partial g(h(w))} \frac{\partial g(h(w))}{\partial h(w)} \frac{\partial h(w)}{\partial w}$$

