

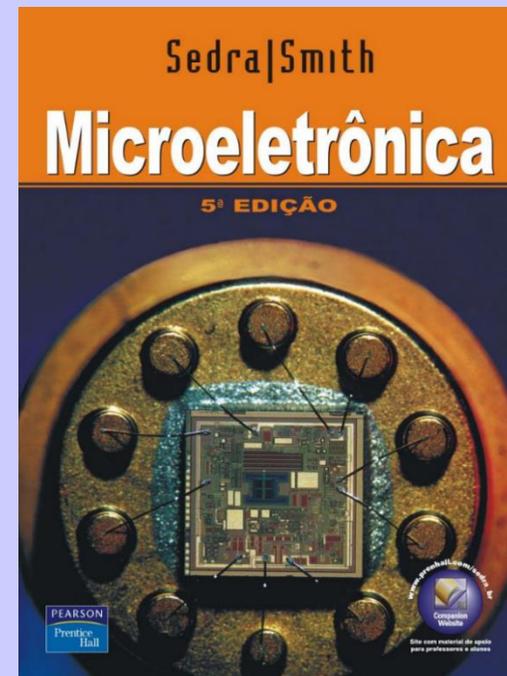
# Eletrônica I – PSI3321-1'2023

- Turma 01: Prof. Antonio Carlos Seabra ([antonio.seabra@usp.br](mailto:antonio.seabra@usp.br))
- Roteiro de aulas, exercícios, aulas digitais, notas no eDisciplinas (2023)

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=106552&section=1#tabs-tree-start>

Se não estiver cadastrado envie e-mail para [antonio.seabra@usp.br](mailto:antonio.seabra@usp.br)

- Avaliação: 2 Provas somando 7 pontos e  
13 testinhos continuados somando 3 pontos
- Livro Texto: Sedra, A.S. and Smith, K.C. Microeletrônica. Pearson, 2007, (tradução da 5a. edição em inglês).
- Dúvidas prof. Seabra:  
e-mail ou 30915660, Sala A1-46



## Quais os objetivos desta disciplina?

- Empregar as técnicas de circuitos elétricos em circuitos eletrônicos reais que utilizem amplificadores operacionais, diodos e transistores bipolares
- Entender o princípio de funcionamento de AOs, diodos e transistores bipolares
- Criar modelos matemáticos e circuitais para esses componentes eletrônicos não lineares
- Analisar circuitos reais com AOs, diodos e transistores bipolares
- Introduzir os alunos nas técnicas de projetos de circuitos

# Eletrônica I – PSI3321

## **Ao final deste curso você deverá estar apto a:**

- Modelar dispositivos eletrônicos lineares e não lineares para aplicar os conceitos vistos em circuitos elétricos e eletrônica
- Analisar e projetar circuitos com Amplificadores Operacionais (AOs) considerando as limitações de desempenho reais dos AOs
- Analisar e Projetar circuitos com AOs, diodos e transistores bipolares considerando os requisitos de ganho (de tensão, corrente) e impedância de entrada/saída

# Eletrônica I – PSI3321

## Onde você usa esses conhecimentos?

- Em todas as disciplinas que envolvam circuitos eletrônicos (Digitais, Potência, Comunicações, Controle, Sistemas embarcados), cerca de 30% de qualquer opção
- Em projetos de hardware discretos (Digitais, Potência, Comunicações, Controle, Sistemas embarcados) e hardware integrado (projeto de circuitos integrados)

## Ferramentas adicionais

- NI Multisim: <http://www.lsi.usp.br/labview/indexcds.html>
- Geogebra: <https://www.geogebra.org/download>
- Desmos: <https://www.desmos.com/calculator>

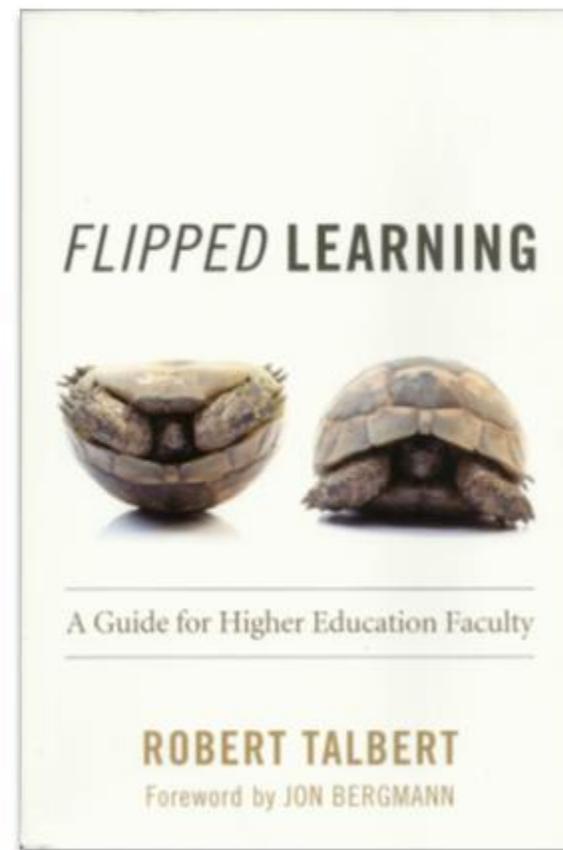
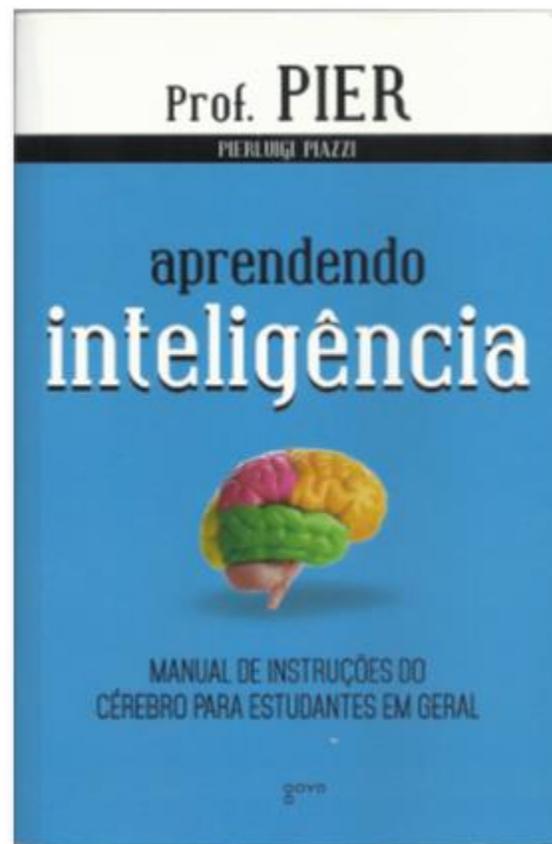
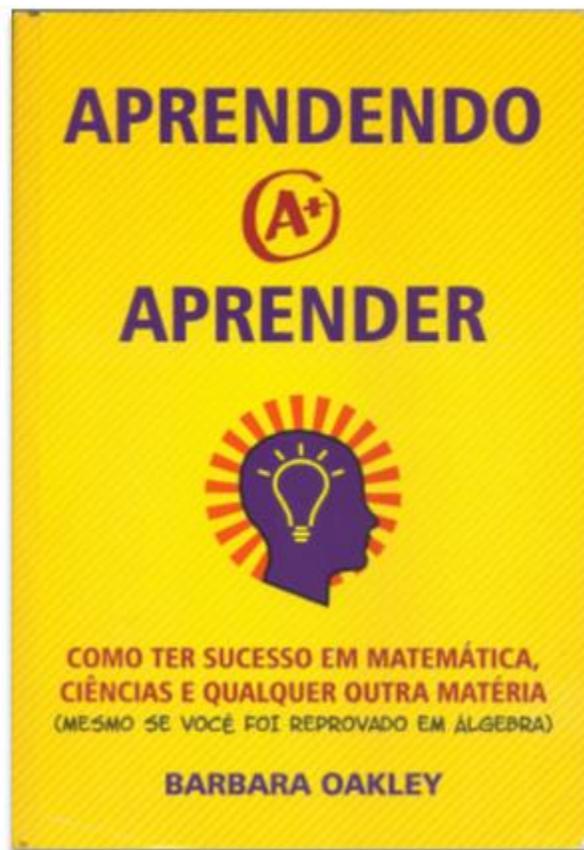
# Eletrônica I – PSI3321

## Proposta de Aprendizagem:

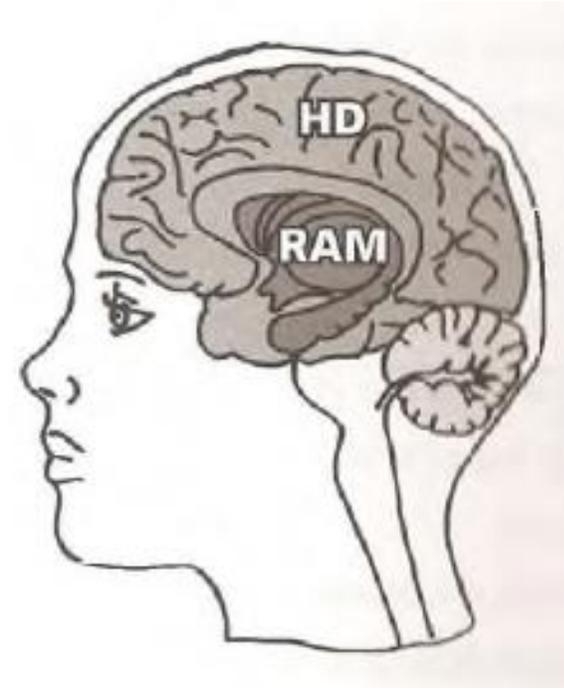
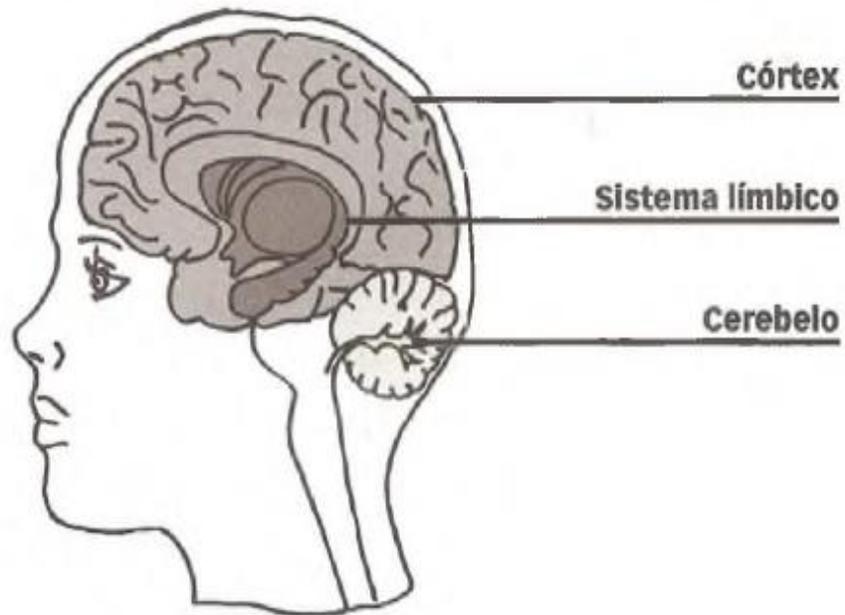
- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumenta tempo para atividades pessoais.

**Será que isto é possível ???**

## Referências



# Cérebro humano (simplificado)

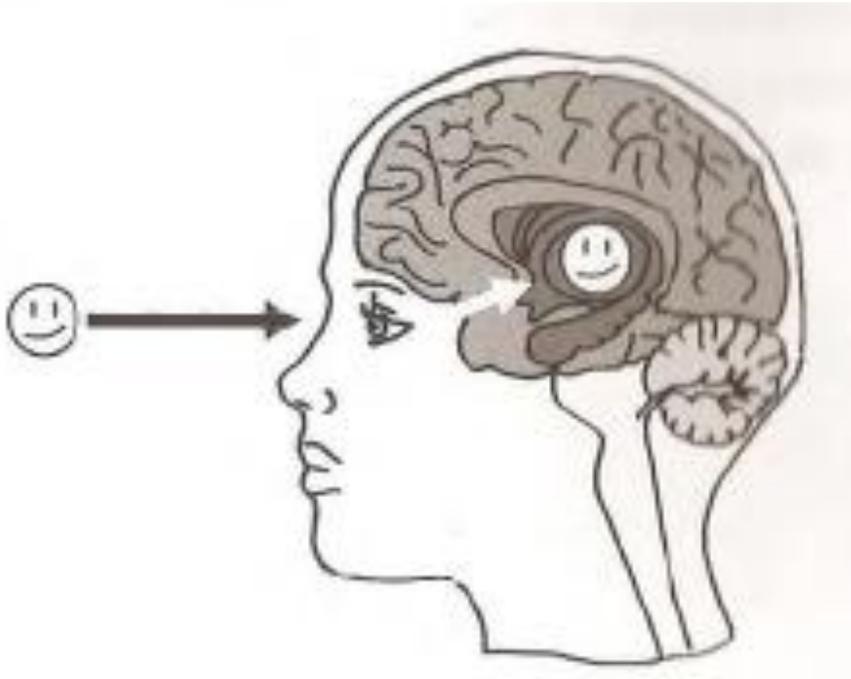


**Sistema límbico: Memória de CURTO PRAZO (RAM)**

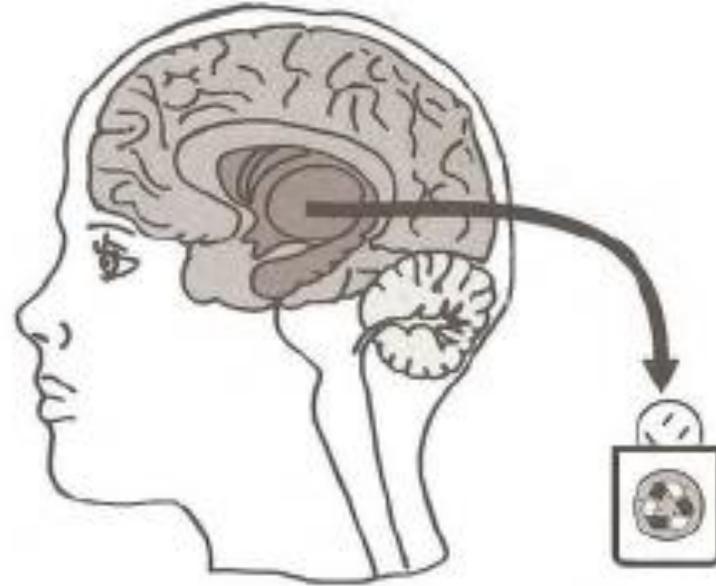
**Córtex: Memória de LONGO PRAZO (HD)**

## Cérebro humano (simplificado)

“Escrever”



“Apagar”

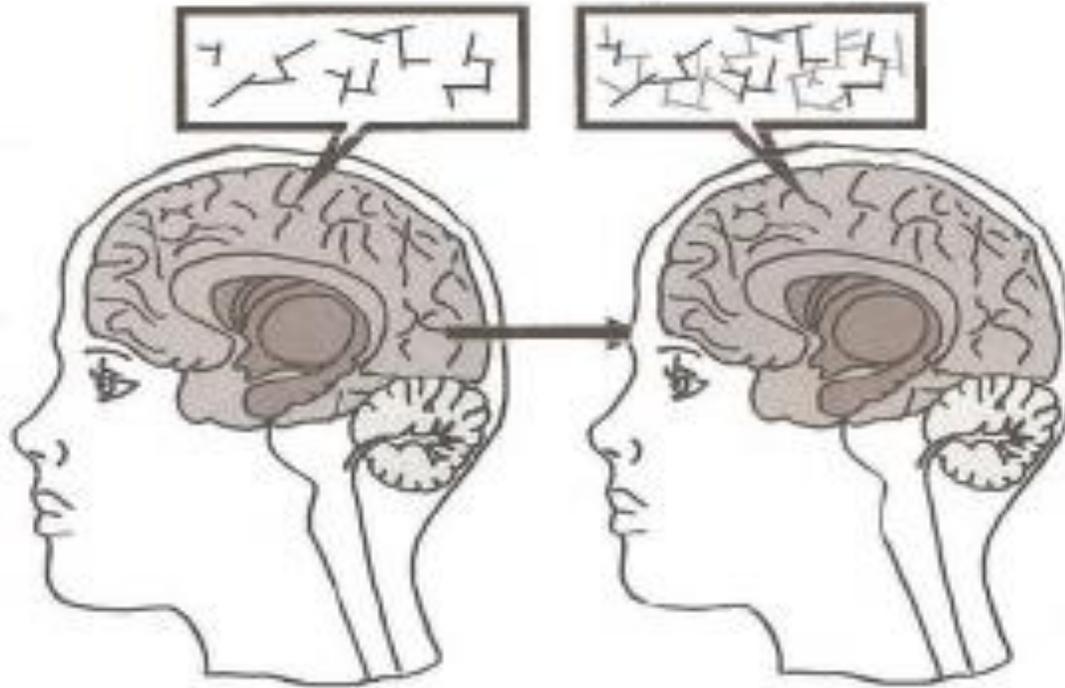


“Escrever” nesta RAM é muito fácil (visão, audição...)

“Apagar” é mais fácil ainda... (ex. número telefone...)

**(cabem apenas algumas horas de informação e as informações dificilmente sobrevivem a uma noite de sono)**

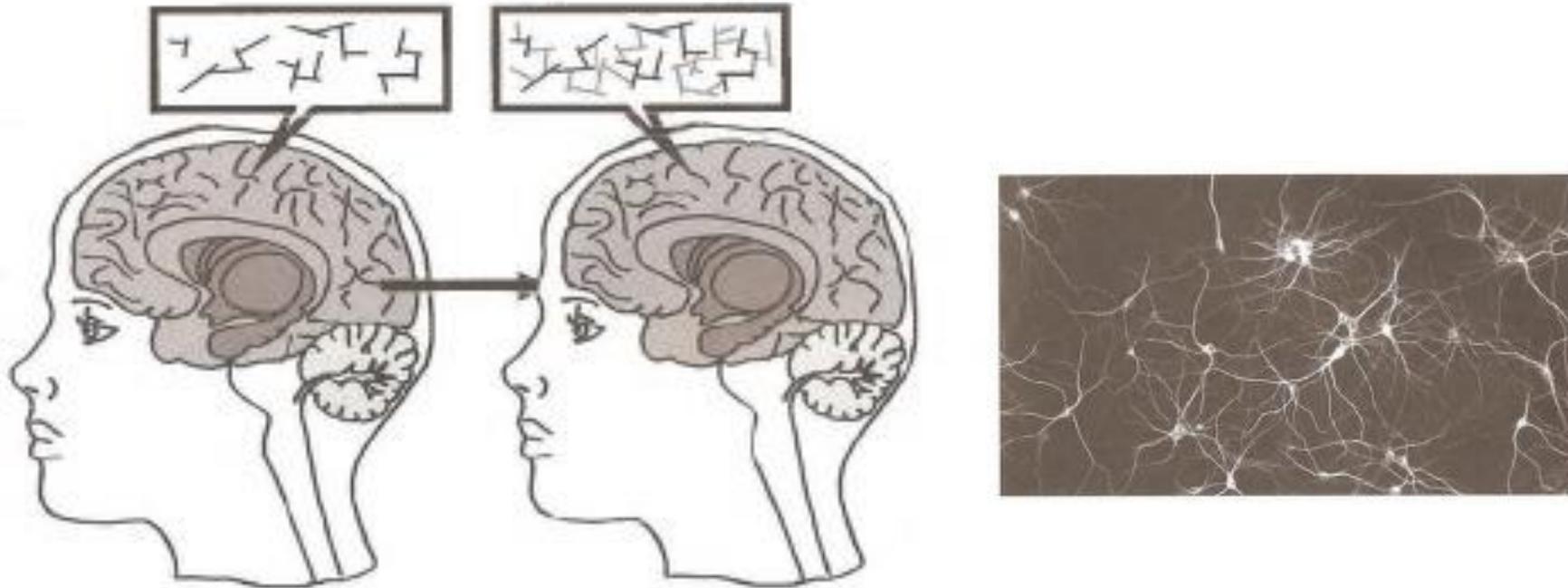
## Cérebro humano (simplificado)



**No HD (Córtex) cabe uma quantidade gigantesca de informações.**

Se alguém estudasse como louco 10 horas por dia, todos os dias da sua vida, esgotaria a capacidade de processamento e armazenamento em 400 anos...)

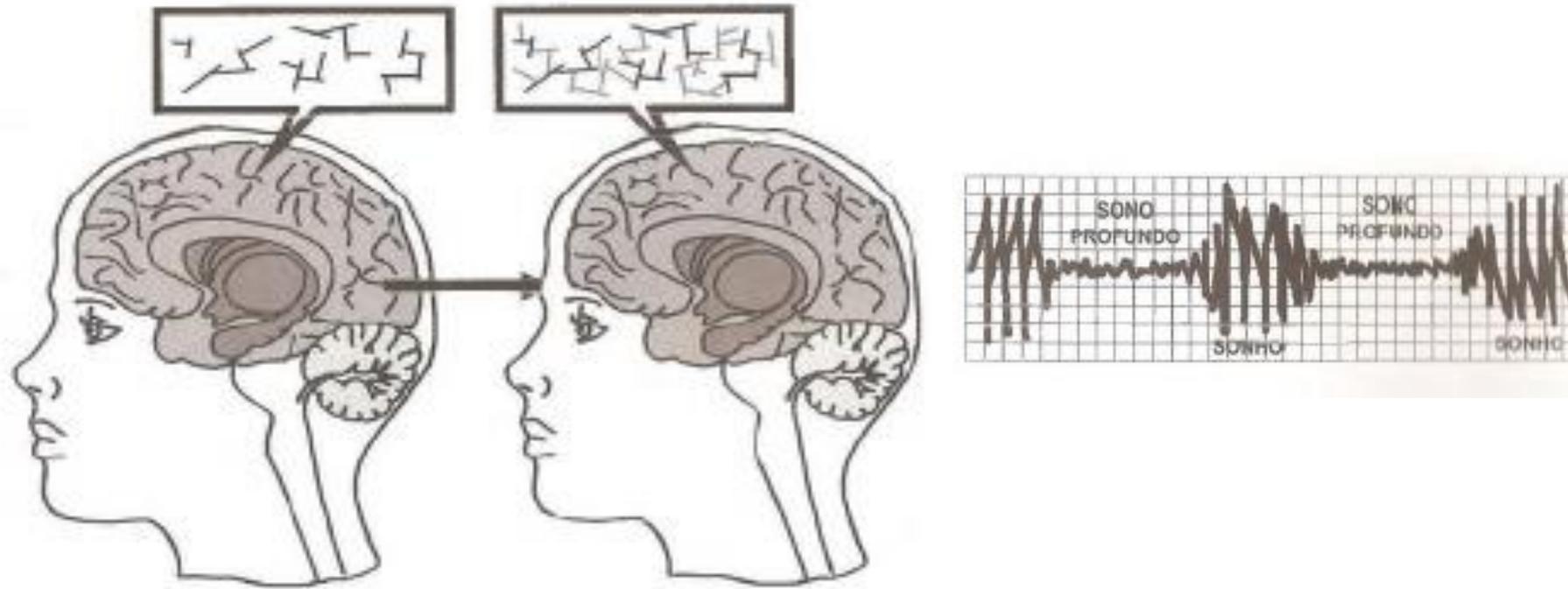
## Cérebro humano (simplificado)



**Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex) requer alteração do circuito cerebral (alteração da ligação entre neurônios. Um conjunto de centenas ou milhares de neurônios forma uma rede neural)**

## Cérebro humano (simplificado)

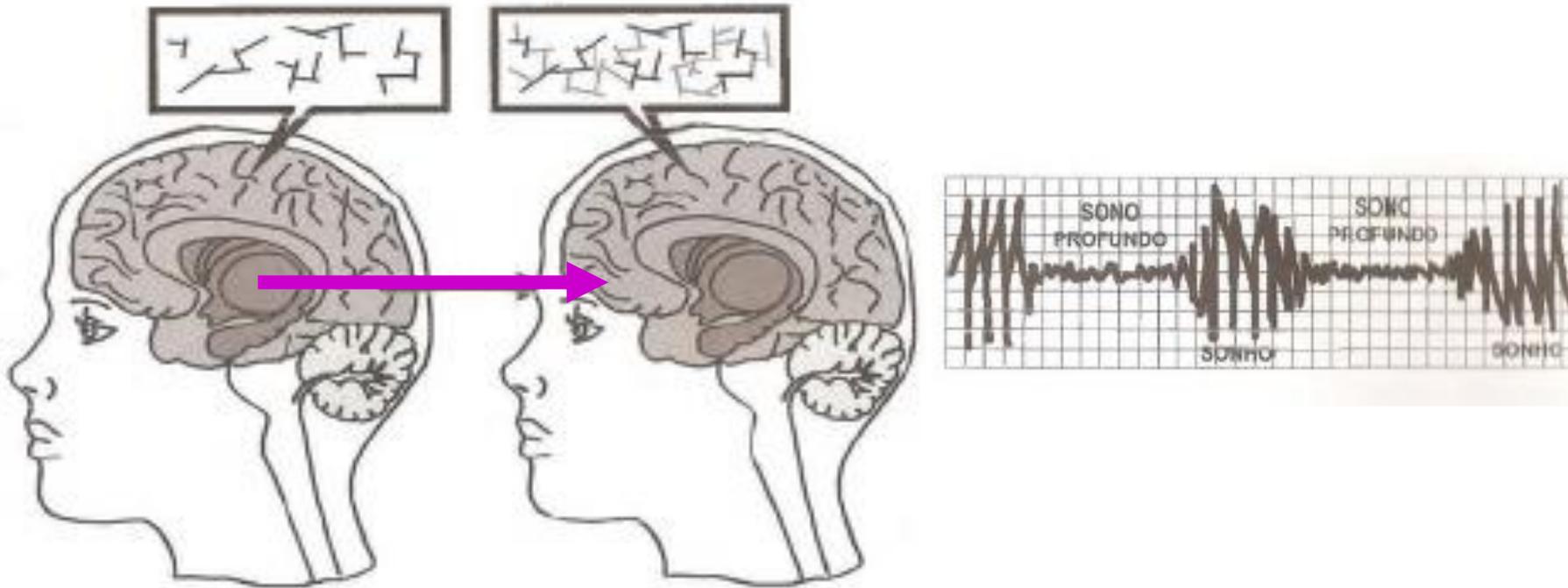
### Armazenamento de dados no HD do cérebro (Córtex)



Este armazenamento de parte dos dados da RAM para o HD do cérebro ocorre durante o sono profundo

## Cérebro humano (simplificado)

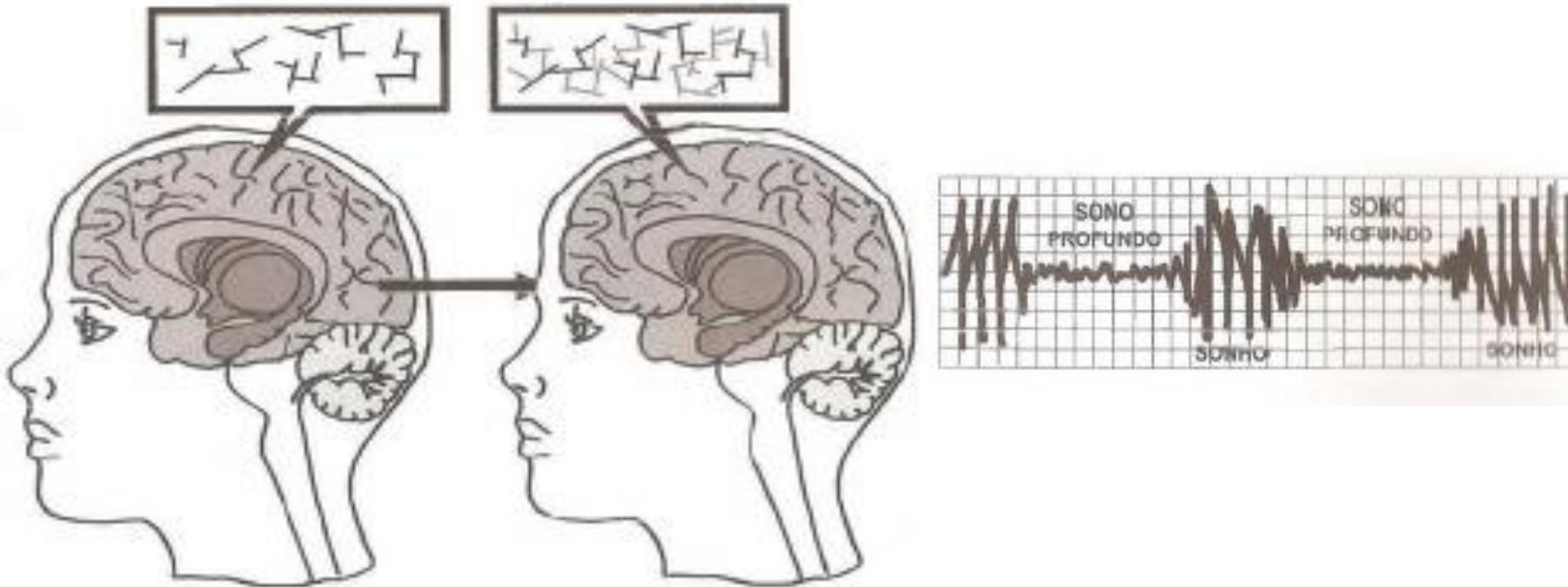
Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?



Resposta: Aquela informação adquirida durante o dia, que fez de maneira alegre, prazerosa ou até muito triste, trágica. A **emoção associada** fará com que **durante o sonho noturno**, ela seja gravada de **forma permanente**.

## Cérebro humano (simplificado)

Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?

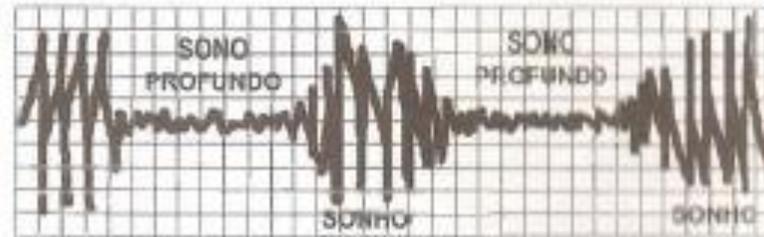
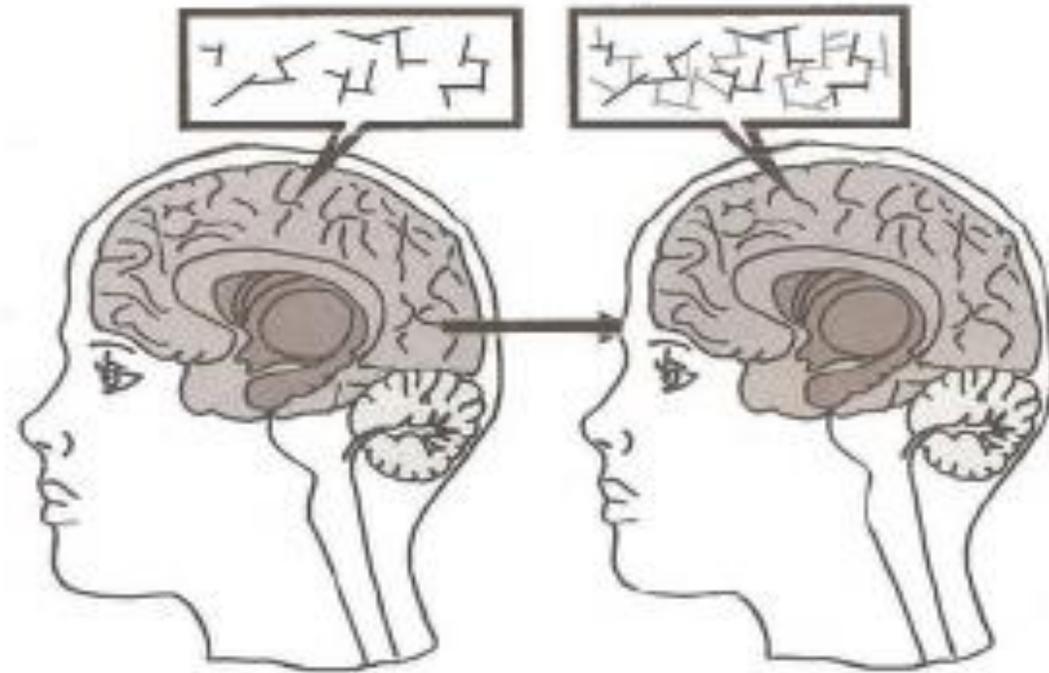


Entretanto, se a informação foi recebida **com indiferença**, tédio, de maneira a não abala-lo nem positiva e nem negativamente, com certeza a informação **será descartada** durante a noite.

## Cérebro humano (simplificado)

Que parte dos dados da RAM vai ser salva de forma permanente no HD do cérebro ?

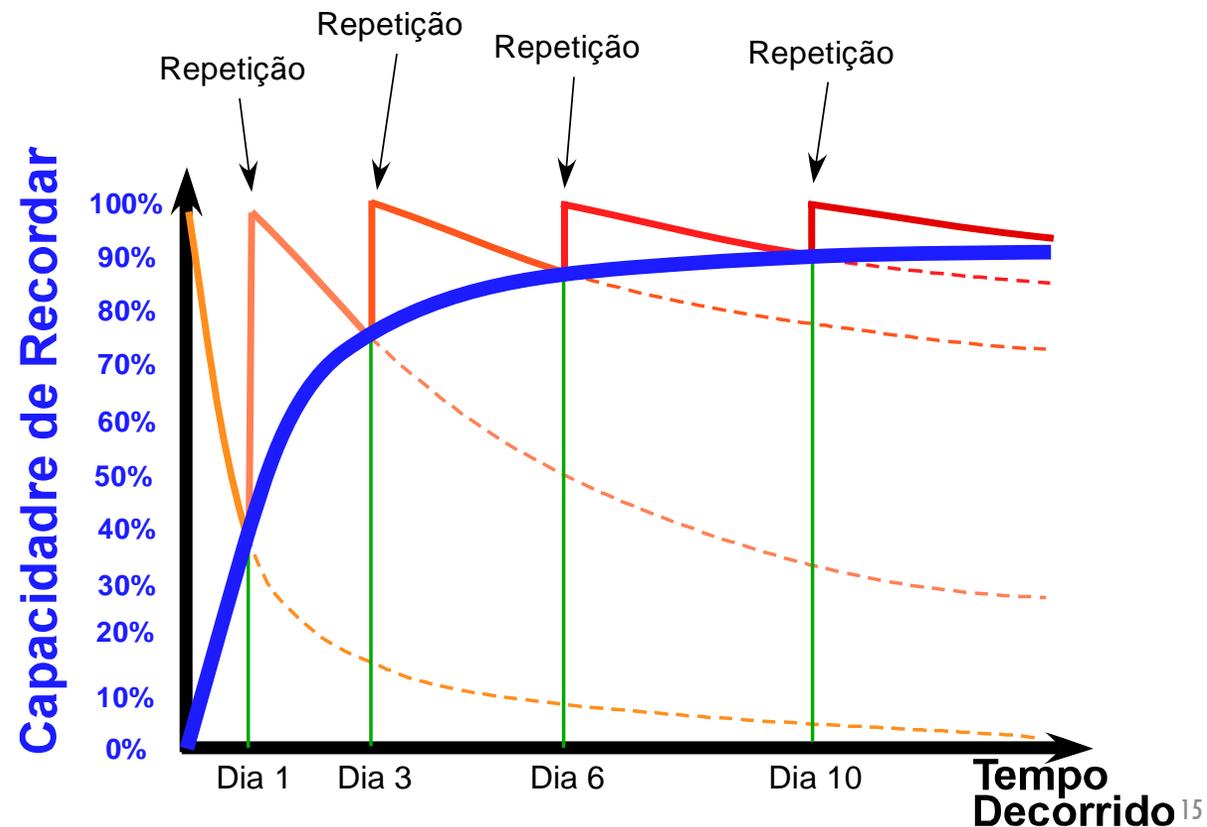
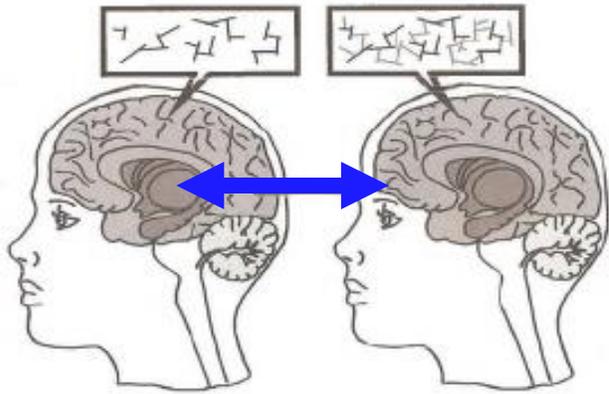
Existe alguma forma de dizermos a nossa memória que parte ela deve reter sem recorrermos diretamente às emoções?



**SIMMM!** Basta darmos **mais atenção** às informações que o nosso cérebro deve reter.  
De que maneira? **Repetindo-a** ao longo do dia, **estudando antes ou depois da aula!**

## Cérebro humano (simplificado)

Adicionalmente, informações e práticas repetidas em intervalos adequados, garantem que a informação fique armazenada por muito mais tempo (aprendizado).



# CAPITULO 2

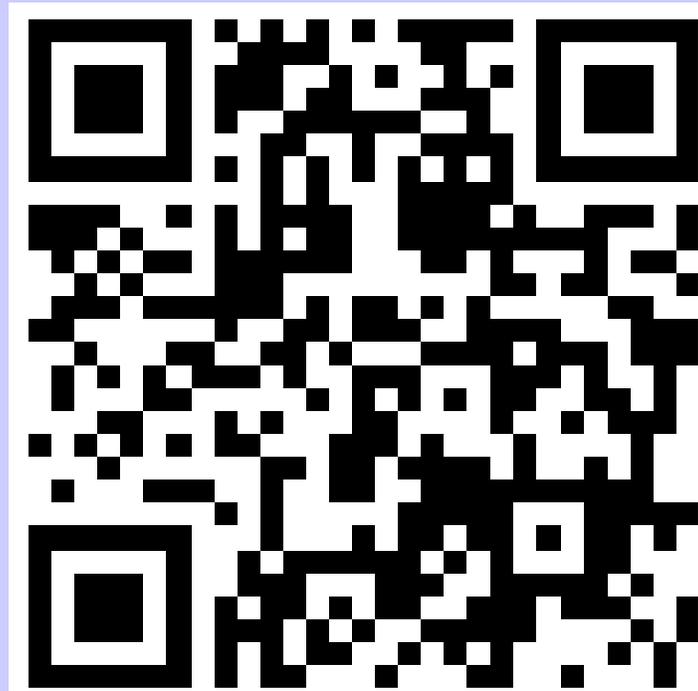


Student Login

Room Name

ACSEABRA01

JOIN



# RESUMINDO

## Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
  - Aprender mais (fixar de forma permanente)
  - Não requer estudo na véspera da prova
  - Aumentar tempo para atividades pessoais.
1. **ENTENDER** antes da aula, no menor tempo possível, o tema da aula.
  2. **APRENDER** na sala de aulas junto com o professor e colegas.

# Abordagens Tradicional e Ativas

E como fazer isso?

- Da forma tradicional, assistindo à aula e depois estudando (estudando, estudando, estudando, estudando...)
- Da forma ativa, estudando um pouco (bem pouco) antes da aula, de forma dirigida, e participando da aula em atividades não expositivas (e estudando muito menos depois).

# Abordagens Tradicional e Ativas

## O que é melhor?

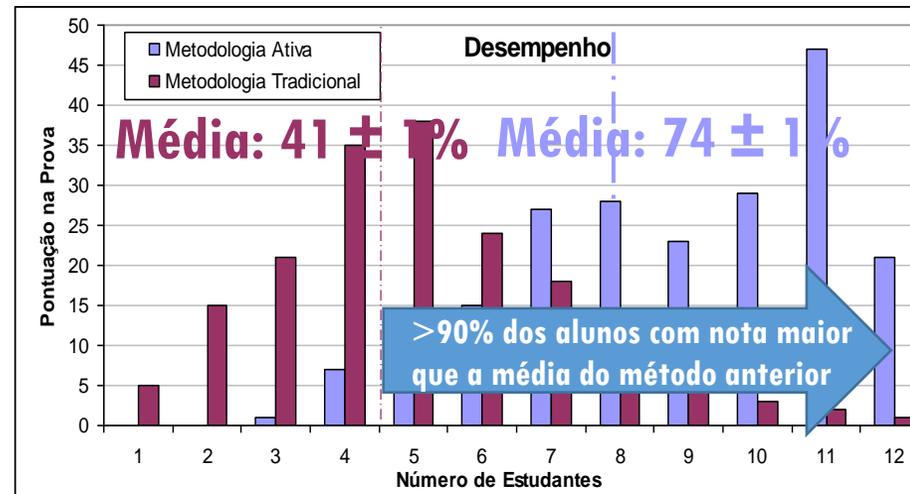
- As evidências científicas dizem o que é melhor:

### Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class

SCIENCE VOL 332 13 MAY 2011

Louis Deslauriers,<sup>1,2</sup> Ellen Schelew,<sup>2</sup> Carl Wieman\*†‡

We compared the amounts of learning achieved using two different instructional approaches under controlled conditions. We measured the learning of a specific set of topics and objectives when taught by 3 hours of traditional lecture given by an experienced highly rated instructor and 3 hours of instruction given by a trained but inexperienced instructor using instruction based on research in cognitive psychology and physics education. The comparison was made between two large sections ( $N = 267$  and  $N = 271$ ) of an introductory undergraduate physics course. We found increased student attendance, higher engagement, and more than twice the learning in the section taught using research-based instruction.



# Abordagens Tradicional e Ativas

## Objetivos Educacionais



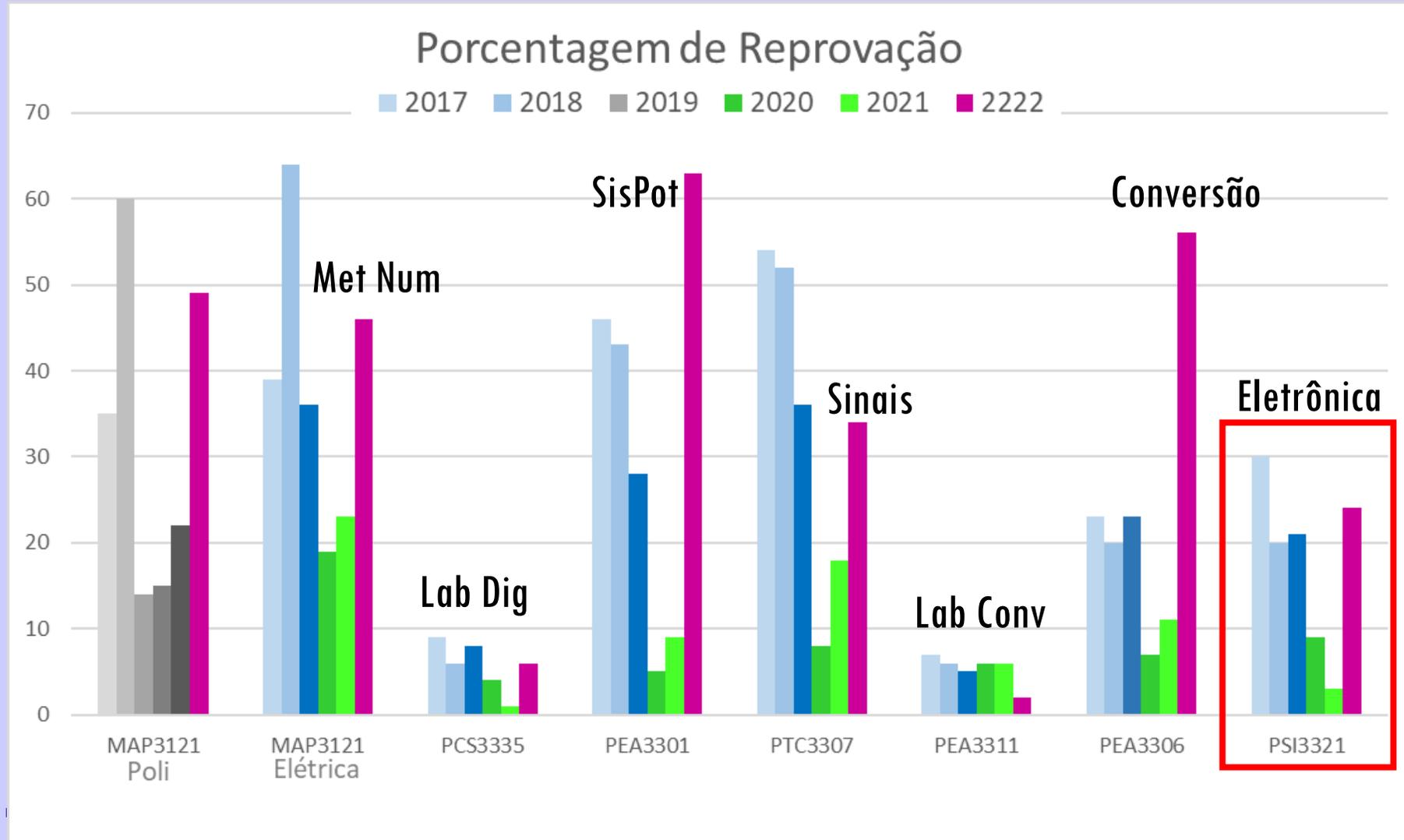
# Abordagens Ativas

- Aproveita de forma muito mais eficiente o tempo de estudo fora e dentro da sala de aula



- Mas exige um compromisso mais forte do professor e dos alunos:
  - Professor: tem que preparar e disponibilizar o material com antecedência e tem que verificar antes da aula o que os alunos fizeram
  - Alunos: têm que se comprometer a ver o material (em média 25 minutos) antes da aula e fazer um questionário de 10 minutos

# Desempenho no 3º semestre elétrica



# Abordagem Ativa em nosso curso

- O que está feito
  - Todo material até a P1 já está disponibilizado no eDisciplinas
  - Dashboard disponível

The screenshot displays the eDisciplinas platform interface. At the top, the browser address bar shows the URL: `edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7492125/mod_resource/content/222/PSI3321-A01P1.html`. The main content area features a video player with a blue background and the text "CAPÍTULO 2" and "Aula 1 Revisão de Amplificadores Operacionais (Circuitos Elétricos) O primeiro AO comercial, o AO ideal e Análise de circuitos com AOs ideais. (Cap2, 38-46)". The video player controls show a duration of 0:00 / 12:16. Below the video, the title "PSI3321-A01P1" and the author "By acseabra" are visible, along with the text "Added 9 days ago | 20 Total Views".

On the left side, there is a navigation menu with a tree structure. The root node is "PSI3321", which branches into "Aula01: Parte 1 (12')". Under "Aula01: Parte 1 (12')", there are two sub-nodes: "Aula Sínc" and "P1 (12')". Under "P1 (12')", there are two sub-nodes: "E1 (15')" and "E2 (15')". Below the tree, there are several buttons: "Teste da Aula", "Slides da Aula", "Fórum da Aula", "Ativ. da Aula", "Listas Exerc.", and "Créditos".

On the right side, there is a "Conversation" panel. It has a search icon and a close icon. Below the search bar, there is a "Submit" button. A comment by "acseabra" is displayed, with a timestamp of "00:00". The comment text reads: "Olá! Ao criar uma conta no sistema, você pode adicionar perguntas ou abrir discussões aqui. Colegas verão sua questão ou comentário no momento do vídeo em que você o postou e podem responder/colocar pontos de vista." Below the comment, there is a "Reply" button and a thumbs-up icon with the number "0".

# Abordagem Ativa em nosso curso

- O que vocês devem fazer antes da aula
  - Assistir os vídeos Px (não precisa assistir os Ex)

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07	A08	A09	A10	A11	A12	A13
Px	12	41+ 20	62	41	13	13	31	21	38	18	16	39	49
Q	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Tot	27	51	72	51	23	23	41	31	48	28	26	49	59
Média	41 min antes de cada aula no total, mas recomendarei ver 20 minutos												

- E na aula o que faremos?
  - Começaremos discutindo as respostas dos questionários
  - Farei pequenas exposições dos pontos que não ficaram claros
  - Faremos os exercícios das aulas semanais e outras atividades



# Abordagem Ativa em nosso curso

- Fazer os testinhos (3 exercícios — 10 minutos)



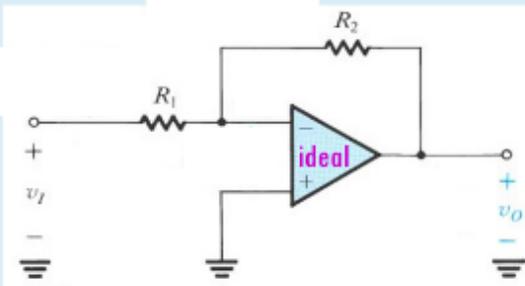
Qual o valor de  $\mu$  ( $m_i$ ) em um amplificador operacional (AO) ideal? E de  $A$ ?

Escolha uma:

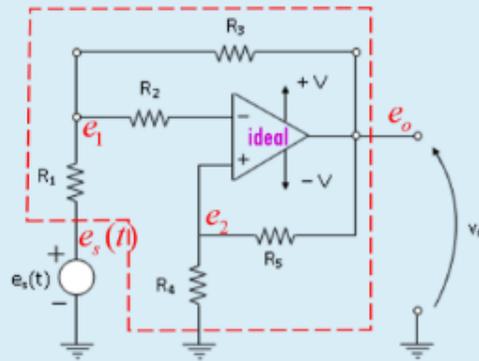
- a. -100 e +100
- b. +100 e -100
- c.  $\rightarrow -\infty$  e  $\rightarrow -\infty$
- d.  $\rightarrow +\infty$  e  $\rightarrow +\infty$

Verificar

Questão twitter (280 caracteres): O que podemos dizer a respeito da corrente no terminal de saída de um AO no circuito inversor abaixo? Ela é zero? Infinita? Se não, como calcular?



No caso deste exercício da figura abaixo podemos usar a "lei" do divisor de tensão entre  $e_o$  e  $e_2$ . Porquê?



Escolha uma ou mais:

- a. Porque temos dois resistores ( $R_4$  e  $R_5$ ) em série
- b. Porque o ramo  $V_+$  não é uma carga para o divisor resistivo  $R_4$ ,  $R_5$
- c. Porque a corrente  $i_+$  (ou  $i_{V+}$ ) é zero

Verificar

## O velho ditado chinês

Para saber o que fazer, basta lembrar um antigo provérbio chinês:



Se eu escuto...  
esqueço!



Se eu vejo...  
entendo!



Se eu FAÇO...  
aprendo!

### Proposta de Aprendizagem:

- Estudar pouco mas na hora certa...
- Aprender mais (fixar de forma permanente)
- Não requer estudo na véspera da prova
- Aumentar tempo para atividades pessoais.

## CAPITULO 2

Um break (2 minutos)  
Converse com seu colega do  
lado o que ele acha desta  
proposta



## CAPITULO 2

Vamos rever circuitos elétricos?

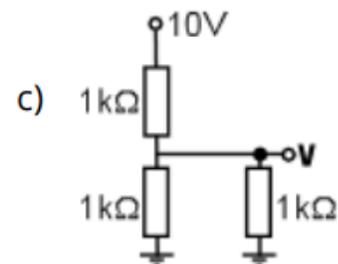
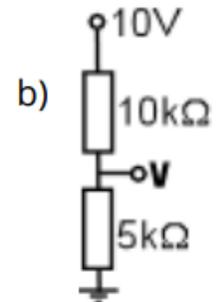
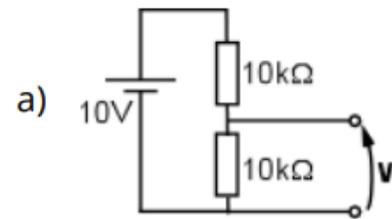
# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

### Aquecimento 1

1) Alguns conceitos apresentados em Circuitos Elétricos são fundamentais para o seu sucesso no curso de Eletrônica. Ao longo do semestre apresentaremos algumas listas de “Recordando” para que você possa avaliar se está dominando as ferramentas (básicas, fique tranquil@) necessárias para o seu sucesso. Comecemos então:

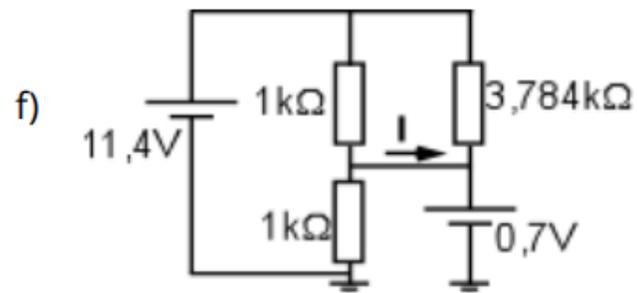
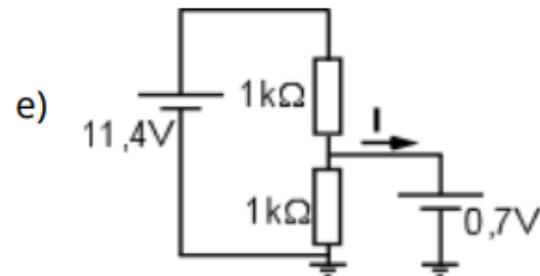
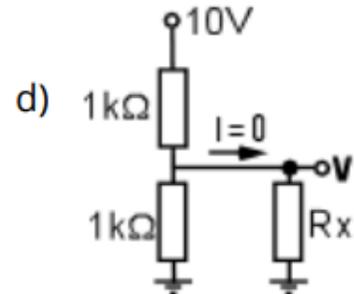
Para cada um dos circuitos abaixo determine o valor numérico das grandezas solicitadas. Escreva, junto com a solução, que técnica você considerou mais importante para resolver cada circuito específico.



# Amplificadores Operacionais

## Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

Para cada um dos circuitos abaixo determine o valor numérico das grandezas solicitadas. Escreva, junto com a solução, que técnica você considerou mais importante para resolver cada circuito específico.



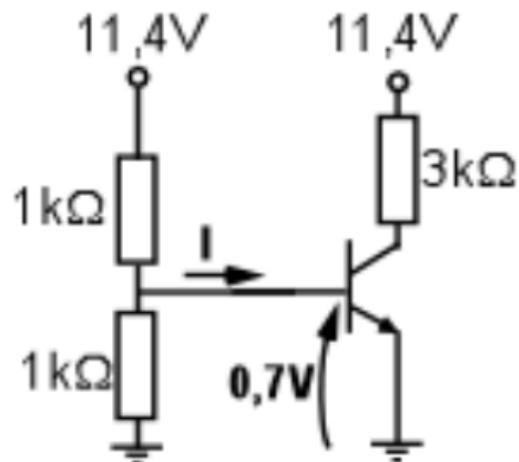
# Amplificadores Operacionais

## Sem medo de usar Circuitos Elétricos I

2) Um problema real. Qual o valor de  $I$ ?:



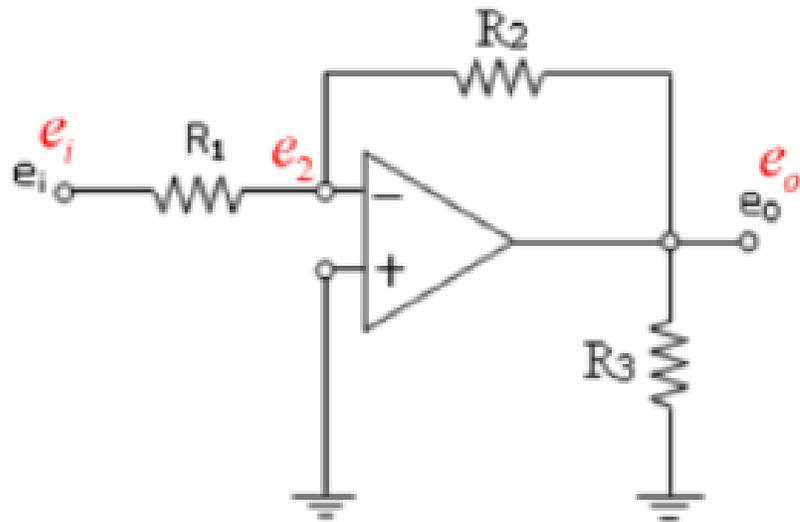
3) Um problema real, desafiador, mas inteiramente ao seu alcance. Qual o valor de  $I$ ?:



# Amplificadores Operacionais

## Sem medo de usar Circuitos Elétricos I

**Exercício 1:** (Circuitos I, lista 2ª prova) Supondo o AO ideal, qual a relação  $e_o/e_i$  no circuito da Figura abaixo?

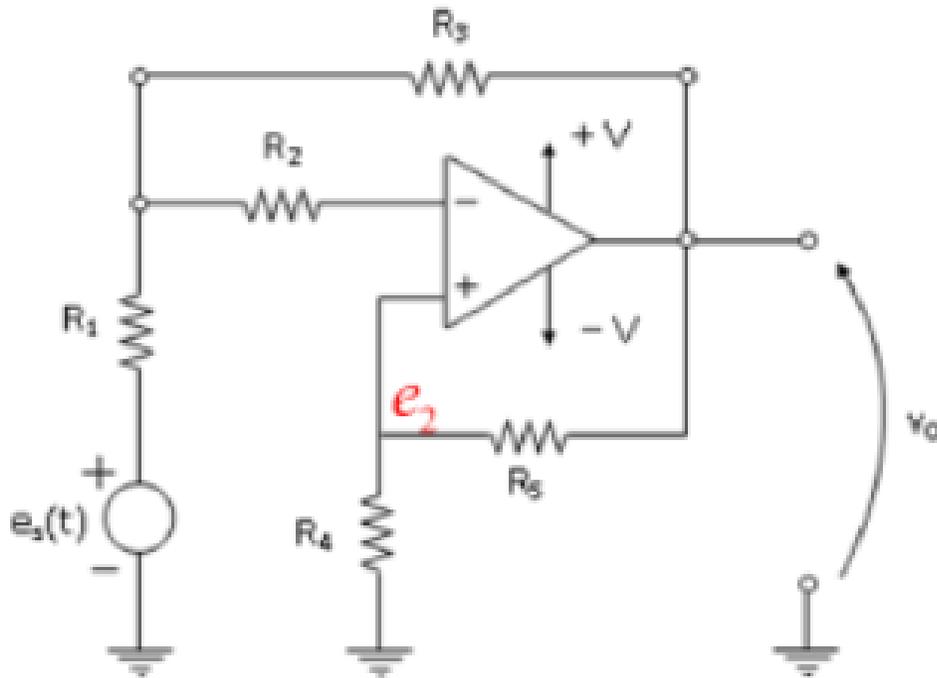


# Amplificadores Operacionais

## Sem medo de usar Circuitos Elétricos I

### Viram em Circuitos Elétricos I – Bloco 4 (e II)

**Exercício 3:** A tensão de saída  $v_0$  pode ser escrita como  $v_0 = B e_s$ , onde  $B$  é uma constante, cujo valor depende dos  $R_s$ . Para  $R_1 = 500 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 2 \text{ k}\Omega$  e  $R_5 = 1 \text{ k}\Omega$ , determine o valor de  $B$ .



# Amplificadores Operacionais

## Sem medo de usar Circuitos Elétricos I

### EXEMPLO 2.2

Supondo o amp op ideal, deduza uma expressão para o ganho em malha fechada  $v_O/v_I$  do circuito mostrado na Figura 2.8. Use esse circuito para projetar um amplificador inversor com um ganho de 100 e impedância de entrada de  $1\text{ M}\Omega$ . Suponha que por alguma razão prática seja exigido usar resistores que não sejam maiores do que  $1\text{ M}\Omega$ . Compare seu projeto com base na configuração inversora da Figura 2.4.

