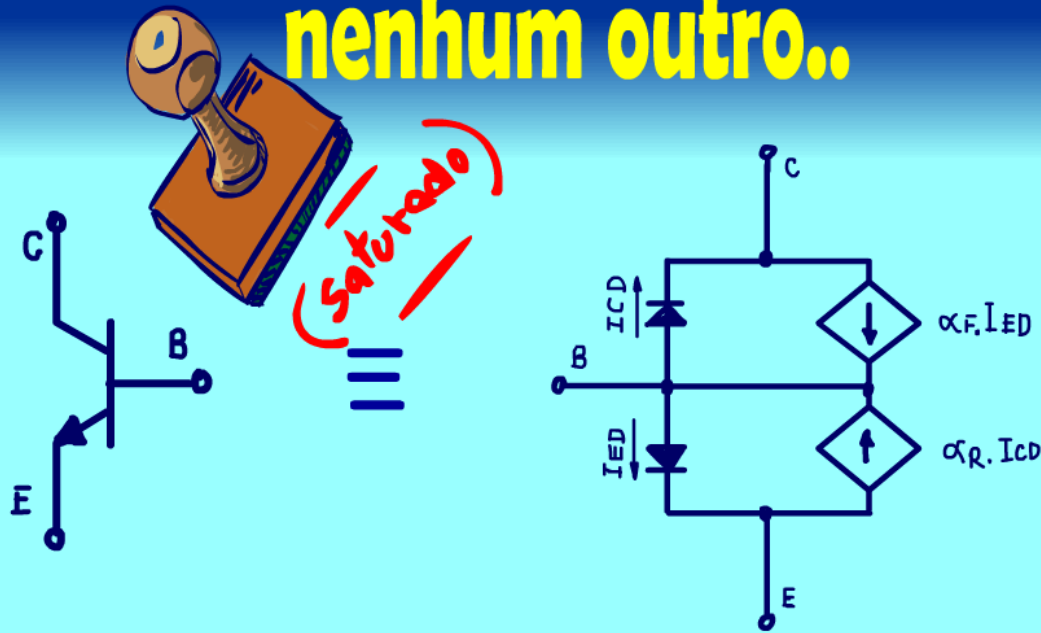


VEJAM COMO EBERS E MOLL EXPLICAM O TRANSISTOR NA SATURAÇÃO

**Esse modelo explica a saturação como  
nenhum outro..**



Professor Bairros (19/11/2023)



**VISITE  
O NOSSO  
SITE e  
CANAL  
YOUTUBE**  
**www.bairrospd.com**  
**Professor Bairos**

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ EM O PDF E MUITO MAIS.  
PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE.

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

<https://www.youtube.com/@professorbairros>

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### Sumário

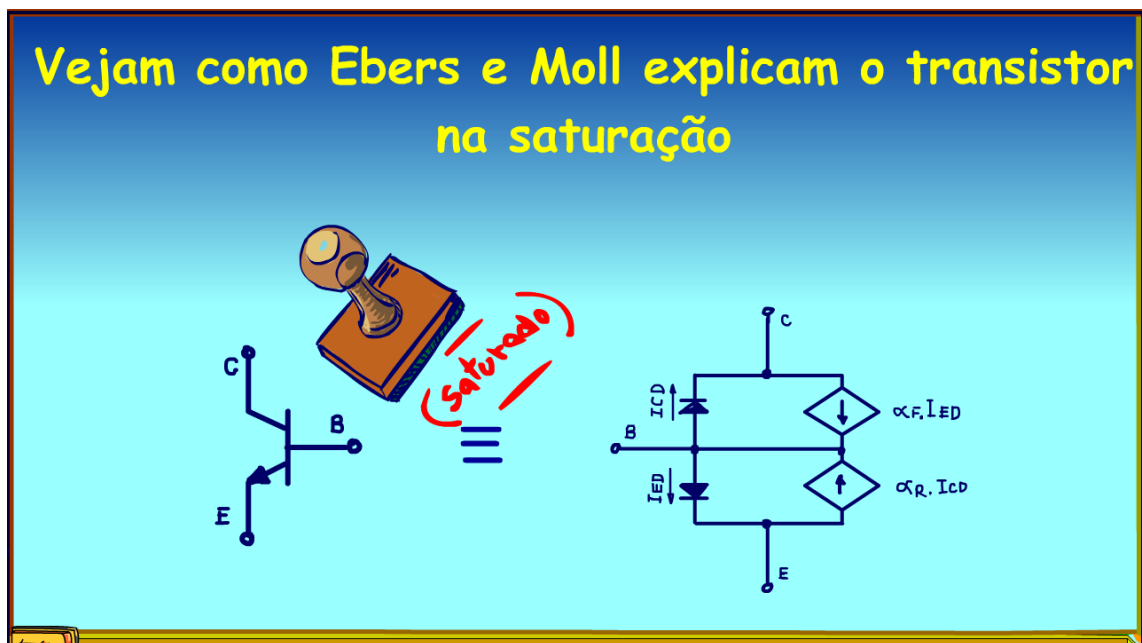
1. Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação .....	4
2. A teoria do transistor de junção .....	5
3. O desenho do modelo para aplicações práticas. ....	6
4. Como usar o modelo. ....	7
5. a SOLUÇÃO .....	8
6. A corrente de coletor. ....	9
7. A tensão VRC e VCE.....	10
8. A TENSÃO REAL NA RESISTÊNCIA DE COLETOR.....	11
9. O modelo Ebers-Moll.....	12
10. Explicando o modelo. ....	13
11. rELAÇÃO ALFA BETA.....	14
12. A relação inversa. ....	15
13. O modelo aplicado ao transistor saturado. ....	16
14. A CORRENTE DE BASE .....	18
15. A corrente NO DIODO de emissor. ....	19
16. A corrente de coletor .....	20
17. A tensão na resistência de coletor. ....	22

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

18.	A mágica do modelo Ebers-Moll. ....	23
19.	Calculando a tensão no diodo de coletor .....	24
20.	a equação da malha.....	25
21.	O modelo do transistor saturado. ....	26
22.	A tensão VCE simplificada.....	27
23.	A tensão VCE real.....	29
24.	Polarizando o transistor na saturação .....	30
25.	Conclusão. ....	32
26.	Créditos .....	33

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 1. VEJAM COMO EBERS E MOLL EXPLICAM O TRANSISTOR NA SATURAÇÃO



O modelo de EBERS-MOLL é uma forma de explicar o comportamento do transistor de junção, esse modelo é especialmente prático para mostrar o transistor de junção na saturação.


É isso que eu vou mostrar nesse tutorial.

Vamos lá.

Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

## 2. A TEORIA DO TRANSISTOR DE JUNÇÃO

2.A TEORIA DO TRANSISTOR DE JUNÇÃO



The diagram shows a common-emitter transistor symbol with terminals labeled C (Collector), B (Base), and E (Emitter). To its right are three cartoon boys wearing Batman t-shirts and blue shorts. The first boy has his hand to his chin in a thinking pose. The second boy is pointing towards the transistor. The third boy has his hand to his face in a surprised or shouting pose.

$I_c = \beta \cdot I_B$      $I_c = I_E$      $V_{BE} = 0,7V$

O modelo do transistor que estamos acostumados pode ser resumido em três linhas.

Primeiro a corrente de coletor é igual a corrente de base multiplicada pelo beta.

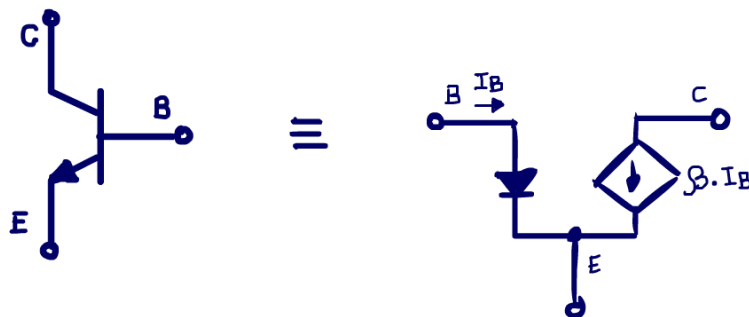
Segundo a corrente de coletor é igual a corrente de emissor se o beta for maior do que 100.

Terceiro a tensão base emissor é igual a 0,7V.

Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 3. O DESENHO DO MODELO PARA APLICAÇÕES PRÁTICAS.

3. O DESENHO DO MODELO PARA APLICAÇÕES PRÁTICAS.

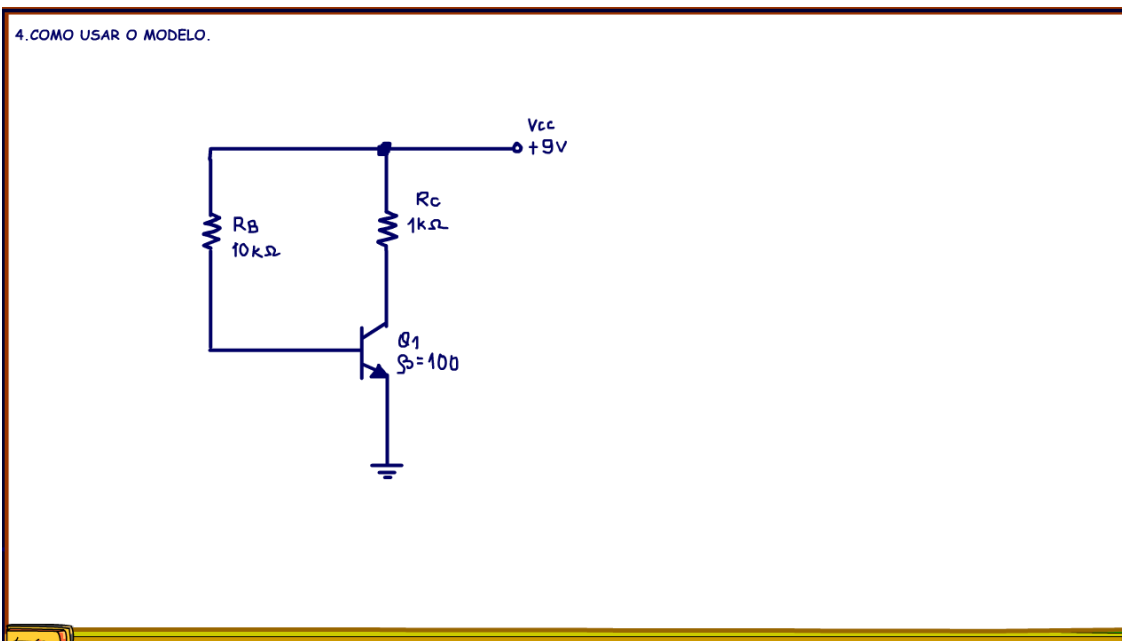


Esse modelo pode ser pensado como o desenho da figura, entre a base e o emissor é desenhado um diodo, por isso a tensão entre a base e o emissor é 0,7V.

Entre o coletor e o emissor existe uma fonte de corrente controlada igual a corrente de base multiplicada pelo beta.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 4. COMO USAR O MODELO.



Esse modelo pode ser usado para analisar a polarização do transistor como amplificador e em muitas outras aplicações, coisa que você está careca de fazer.

Ele é tão simples que na maioria das vezes o técnico nem desenha o modelo, já parte para a análise, mas tem uma situação que esse modelo falha, quando o transistor está saturado como no circuito da figura, se eu pedir para você calcular a tensão coletor emissor desse circuito usando o modelo simples, veja como ficaria a solução.

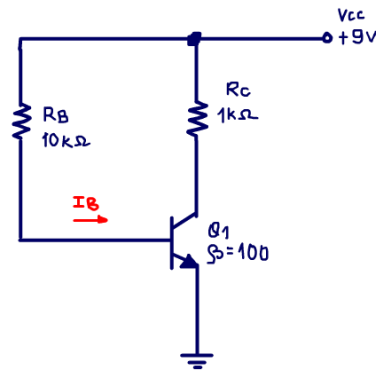
Considere o ganho de corrente beta igual a 100.



## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 5. A SOLUÇÃO

5. A SOLUÇÃO.



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_B = \frac{9V - 0,7V}{10K} = 0,83mA$$

A solução é simples, todo mundo sabe fazer.

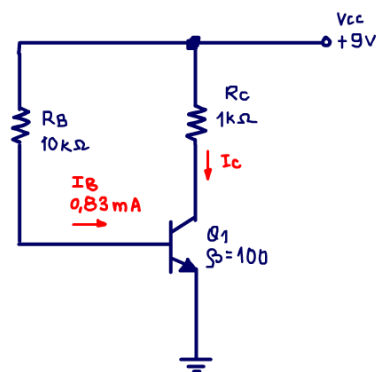
Primeiro calcule a corrente de base.

Corrente de base é igual a tensão VCC menos a tensão na junção base emissor, tudo dividido pela resistência de base, substituindo os valores e calculando isso dá: 0,83mA.

Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

## 6. A CORRENTE DE COLETOR.

6. A CORRENTE DE COLETOR.



$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_C = 100 \cdot 0,83 \text{ mA}$$

$$I_C = 83 \text{ mA}$$

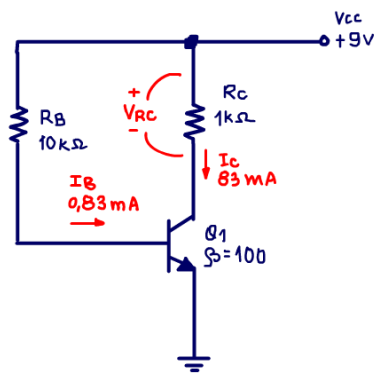
Agora calcule a corrente de coletor.

É só multiplicar a corrente de base pelo beta 100 e pronto, a corrente de coletor é igual a 83 mA.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 7. A TENSÃO VRC E VCE

7. A TENSÃO VRC E VCE



$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

$$V_{RC} = 83\text{ mA} \cdot 1\text{ k}\Omega$$

$$V_{RC} = 83\text{ V}$$

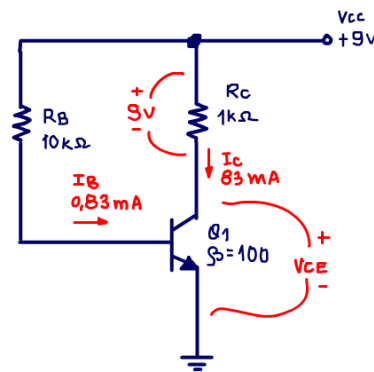
Agora fica fácil calcular a tensão na resistência de coletor, é só usar a lei de OHM.

A tensão na resistência de coletor é igual a corrente de coletor multiplicada pela resistência de coletor, substituindo os valores e calculando dá: 83V.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 8. A TENSÃO REAL NA RESISTÊNCIA DE COLETOR

8. A TENSÃO REAL NA RESISTÊNCIA DE COLETOR



$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

$$V_{RC} = 83 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{RC} = 9 \text{ V}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC}$$

$$V_{CE} = 9 \text{ V} - 9 \text{ V} = 0 \text{ V}$$



(SATURADO)

Mas, que tensão é essa?

Está muito acima da tensão da fonte, como fazer agora?

Uma solução, e que eu uso normalmente, é dizer que a tensão em um circuito nunca pode ser superior a tensão da fonte, então nesse caso a tensão na resistência de coletor é igual a tensão da fonte, o máximo possível.

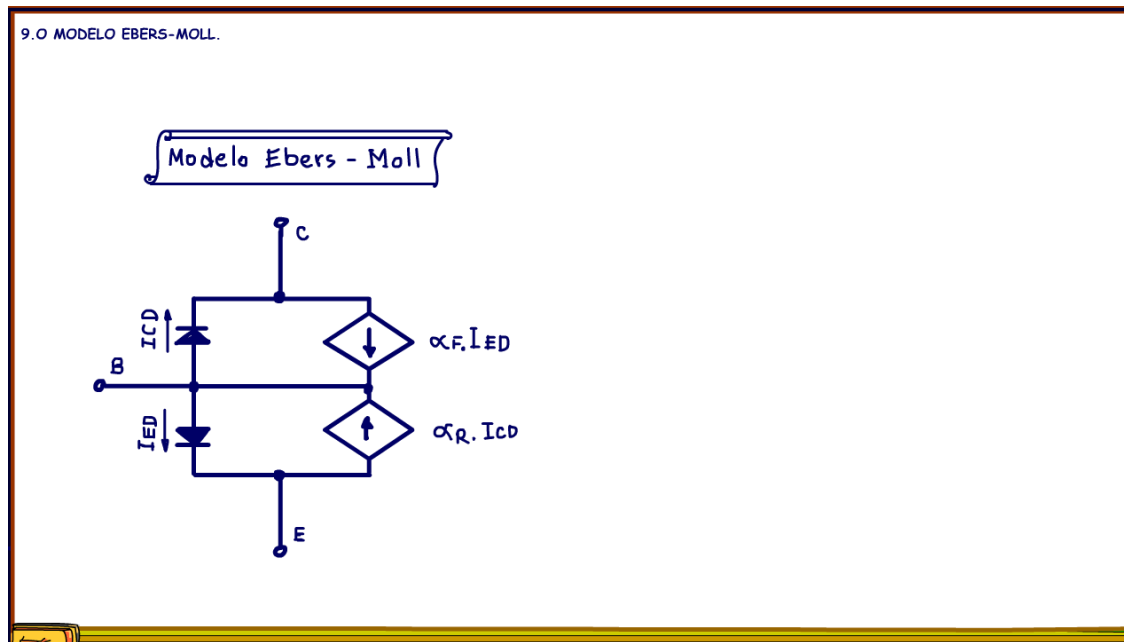
Agora eu consigo calcular a tensão coletor emissor, essa tensão é igual a tensão da fonte menos a tensão na resistência de coletor, que é igual a tensão da fonte e pronto a tensão coletor emissor é igual a zero volt.

Quando o transistor tem uma tensão próxima de zero entre o coletor emissor, ou ainda menor do que 0,4V, disse que o transistor está saturado, ele funciona como uma chave fechada.

A ideia é boa, mas pode ser melhorada, basta melhorar o nosso modelo

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 9. O MODELO EBERS-MOLL.



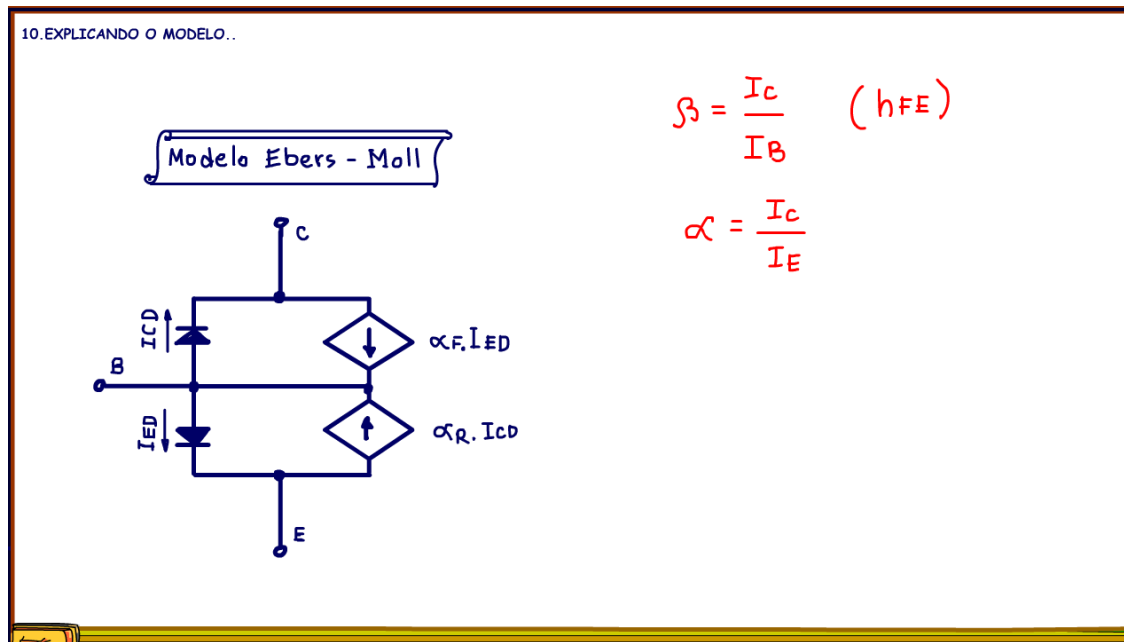
Foi isso que fizeram os Srs. Ebers e Moll em 1954 e nos apresentaram com um modelo que é bem mais apurado e que explica o transistor saturado, veja o modelo Ebers-Moll na figura.

Vou chamar simplesmente de modelo Ebers-Moll.

No modelo Ebers- Moll foi acrescentado mais um diodo entre a base e o coletor, em paralelo com a fonte de corrente já existente no modelo simplificado e mais uma fonte de corrente em paralelo com o diodo entre a base e o emissor.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 10. EXPLICANDO O MODELO.



Aquele alfa efe é uma forma diferente de escrever o ganho de corrente da configuração emissor comum, aquela que estamos acostumados, esse efe é de diretamente polarizado, mas estamos acostumados mesmo é com o beta que é a relação entre a corrente de coletor e a corrente de base, também conhecido como hFE com FE maiúsculo, no nosso exemplo é 100.

O alfa é diferente, ele relaciona a corrente de coletor com a corrente de emissor, ele é muito importante na configuração base comum, no modelo anterior, o modelo simples, a gente dizia que a corrente de coletor é igual a corrente de emissor, então naquele modelo o alfa é 1.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 11. RELAÇÃO ALFA BETA

11. RELAÇÃO ALFA BETA

Modelo Ebers - Moll

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = \frac{I_C}{\beta} + I_C$$

$$I_E = I_C \cdot \left( \frac{1 + \beta}{\beta} \right)$$

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{1 + \beta}{\beta}$$

$$\frac{I_C}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

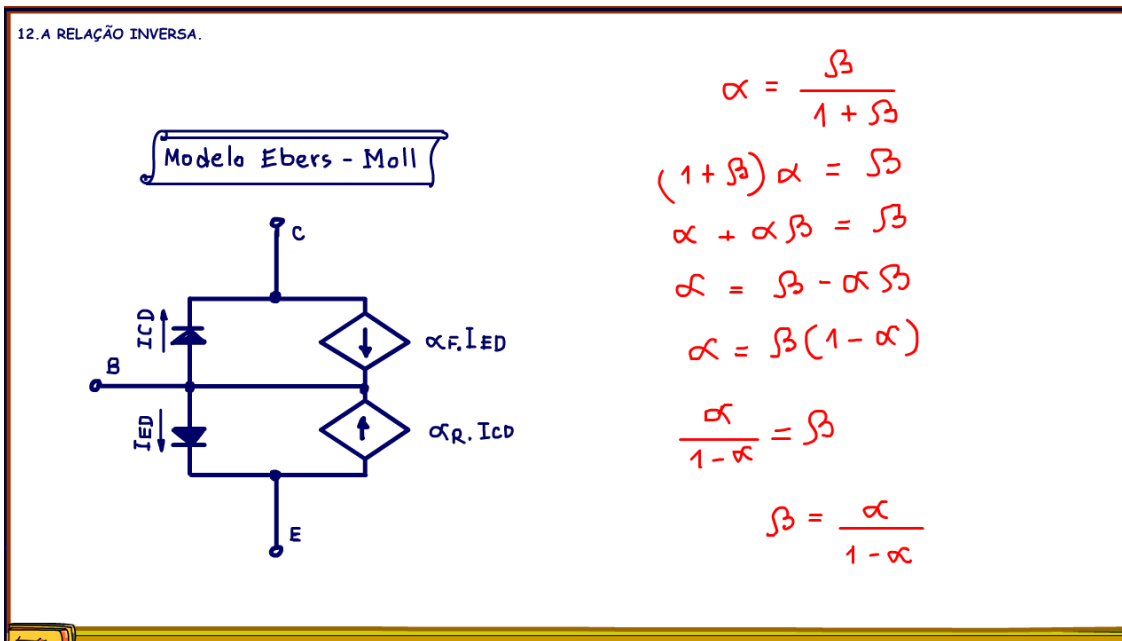
$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

Mas, na realidade a corrente de emissor é um pouco maior do que a corrente de coletor, claro tem que somar a corrente de base, então é possível achar uma relação entre o beta e o alfa, o Raul Seixas já desconfiava disso.

A corrente de emissor é igual a corrente de coletor mais a corrente de base, mas a corrente de base é igual a corrente de coletor sobre o beta, colocando a corrente de coletor em evidência, somando as parcelas, e passando a corrente de coletor para o outro lado, revirando tudo para colocar a corrente de coletor sobre a corrente de emissor, pronto temos a relação entre o alfa e o beta.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 12.A RELAÇÃO INVERSA.



Claro que dá para determinar o beta em função do alfa também, é só um pouco de matemática, tira aqui, bota ali, passa para lá e pronto!

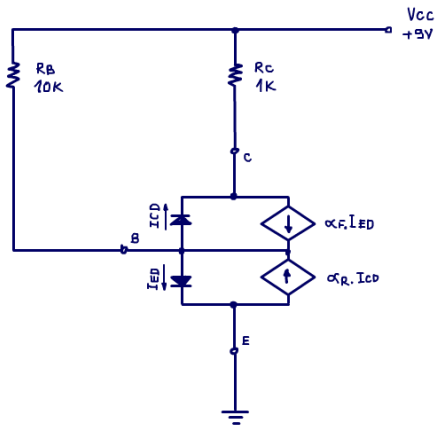
Veja como fica a equação final, é muito parecida com a equação anterior, mas agora o beta é igual a alfa sobre um menos o alfa, pequena diferença.



## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 13.O MODELO APLICADO AO TRANSISTOR SATURADO.

13.O MODELO APLICADO AO TRANSISTOR SATURADO.

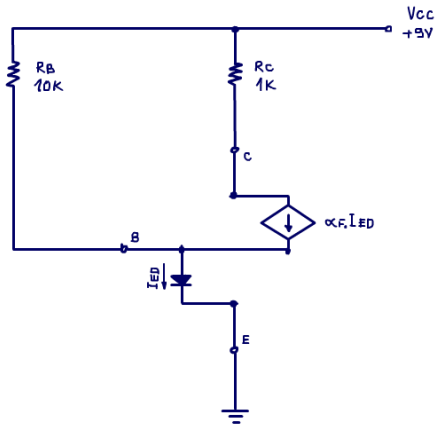


Agora vou usar esse modelo para analisar o circuito anterior, substituindo o transistor pelo modelo Ebers-Moll.

No modelo simplificado o diodo entre a base e coletor está aberto, vou fazer isso no modelo Ebers-Moll, vou partir da premissa de que o diodo de coletor está aberto e o diodo do emissor está conduzindo.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

13. O MODELO APLICADO AO TRANSISTOR SATURADO.

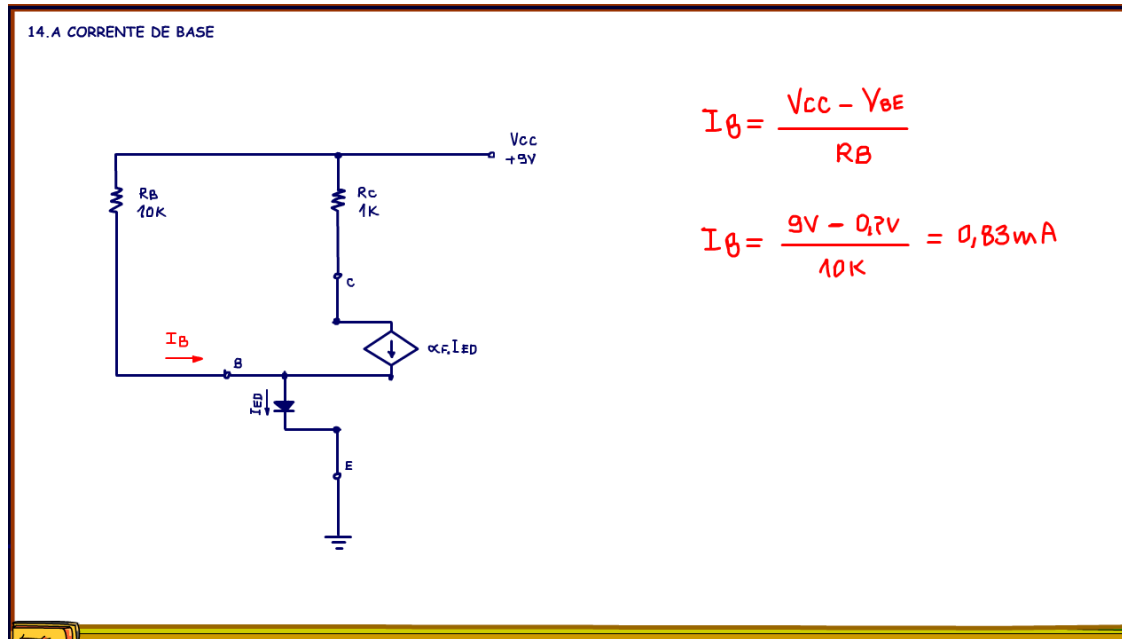


Nesse caso a fonte de corrente em paralelo com o diodo de emissor não existe, a corrente no diodo de coletor é zero.

Agora o modelo Ebers-Moll ficou bem parecido com o modelo simplificado.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 14.A CORRENTE DE BASE

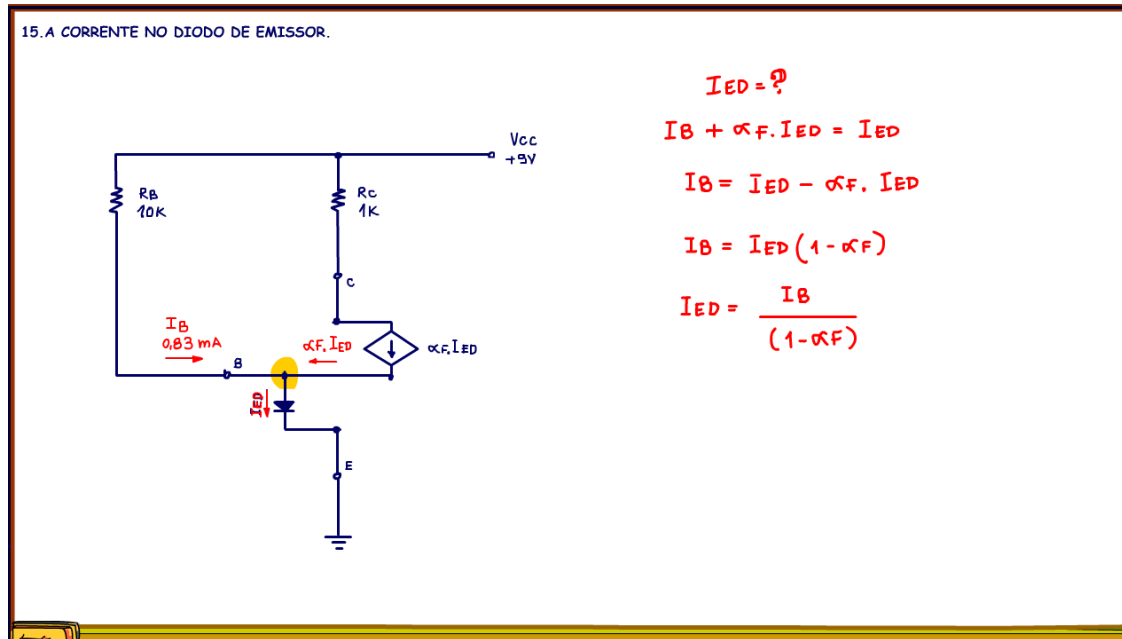


A análise do circuito para determinar a tensão sobre a resistência de coletor não muda quase nada.

A corrente de base é igual a tensão da fonte menos a tensão no diodo base emissor, que está conduzindo, sobre a resistência de base, substituindo os valores e calculando dá: 0,83 mA, essa é a corrente de base, o mesmo valor encontrado usando o modelo simples, mas cuidado não é a corrente no diodo de emissor, essa é uma diferença importante nesse circuito, veja como determinar a corrente no diodo de emissor.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 15.A CORRENTE NO DIODO DE EMISSOR.



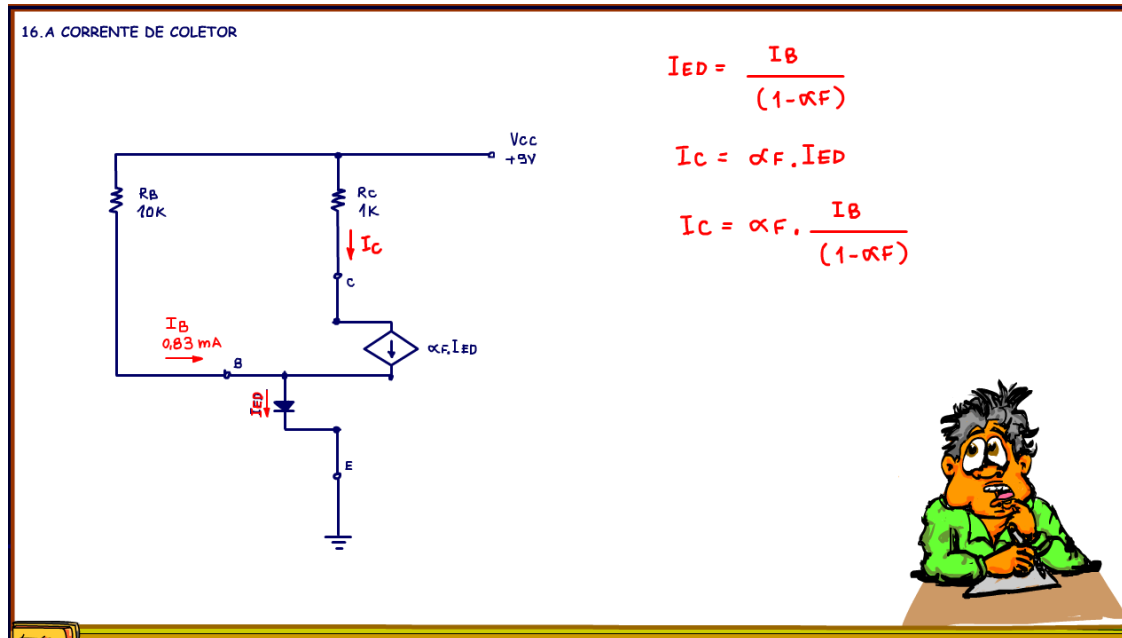
A corrente no diodo de emissor pode ser determinada a partir do nó da base, é só aplicar a LEI DOS NÓS, nesse nó está entrando a corrente de base e a corrente da fonte e está saindo a corrente no diodo de emissor.

Passando a corrente do diodo para o outro lado da igualdade, colocando o alfa em evidência, isolando a corrente no diodo de emissor e ajeitando a equação para mostrar a corrente no diodo de emissor, pronto essa é a corrente no diodo de emissor.

Eu preciso dessa corrente porque ela vai aparecer na fonte de corrente que está ligada no coletor.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 16.A CORRENTE DE COLETOR



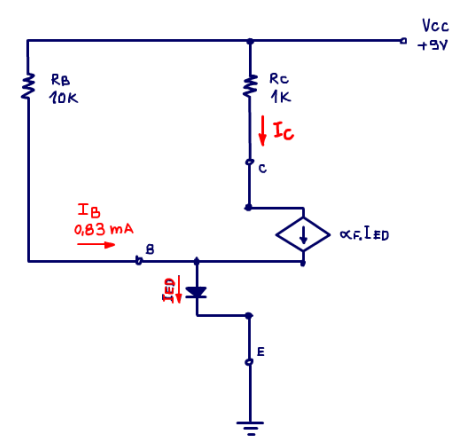
A corrente de coletor agora é dada pela fonte de corrente constante e controlada do modelo Ebers-Moll ligada no coletor.

A corrente de coletor é igual ao alfa vezes a corrente no diodo de emissor.

Vou substituir a corrente do diodo de emissor pela equação vista a pouco.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

16.A CORRENTE DE COLETOR



$$I_{ED} = \frac{I_B}{(1-\alpha_F)}$$

$$I_C = \alpha_F \cdot I_E$$

$$I_C = \alpha_F \cdot \frac{I_B}{(1-\alpha_F)}$$

$$I_C = \frac{\alpha_F}{(1-\alpha_F)} \cdot I_B$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

$$I_C = 100 \cdot 0,83 \text{ mA}$$

$$I_C = 83 \text{ mA!}$$

E agora a mágica, alfa sobre um menos alfa é exatamente o beta e veja, a equação ficou igualzinha ao nosso modelo simplificado, a corrente de coletor é igual a corrente de base vezes o beta.

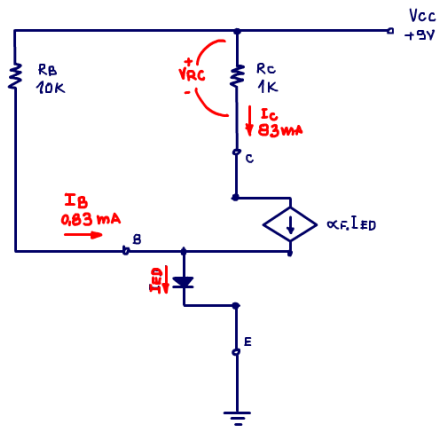
Como o beta é 100 e a corrente de base é 0,83mA, então a corrente de coletor é igual a 83 mA, exatamente como antes.

Viu, o modelo Ebers-Moll funcionou igualzinho o modelo simples, eles pensaram, pensaram e fizeram a mesma coisa, será.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 17.A TENSÃO NA RESISTÊNCIA DE COLETOR.

17.A TENSÃO NA RESISTÊNCIA DE COLETOR.



$$V_{RC} = I_C \cdot R_C$$

$$V_{RC} = 83 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega$$

$$V_{RC} = 83 \text{ V}$$

Agora fica fácil calcular a tensão na resistência de coletor, é só multiplicar por 1 kOHM e pronto a tensão é igual a 83V.

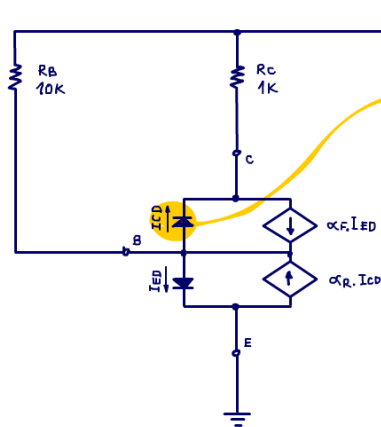
Mas, onde está a vantagem desse modelo, o valor continua absurdo, como explicar isso?



## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 18.A MÁGICA DO MODELO EBERS-MOLL.

18.A MÁGICA DO MODELO EBERS-MOLL.



$\bar{V}_D$   
 $+$   
 Se  $V_D < 0V$  (NEGATIVA)  
 ENTÃO  
 Inversamente  
 Polarizado?

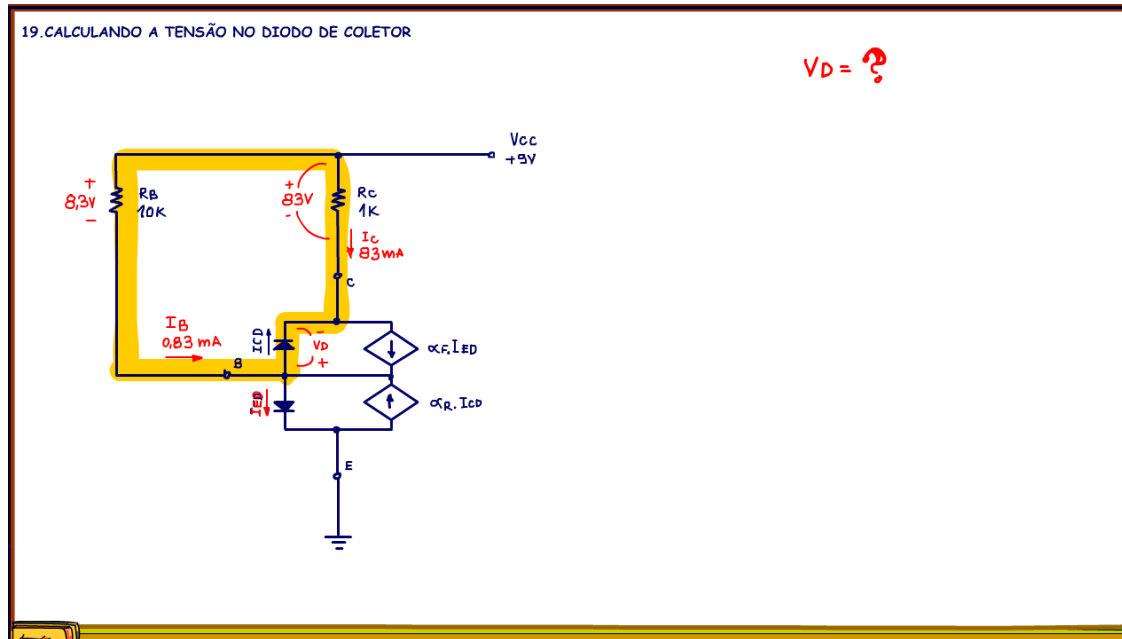
Agora vem a mágica do modelo Ebers-Moll.

Nessa nossa análise a gente considerou que o diodo de coletor estava aberto, um diodo está aberto quando a tensão anodo catodo é inversa, vamos conferir se é isso mesmo que está acontecendo?



## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 19. CALCULANDO A TENSÃO NO DIODO DE COLETOR

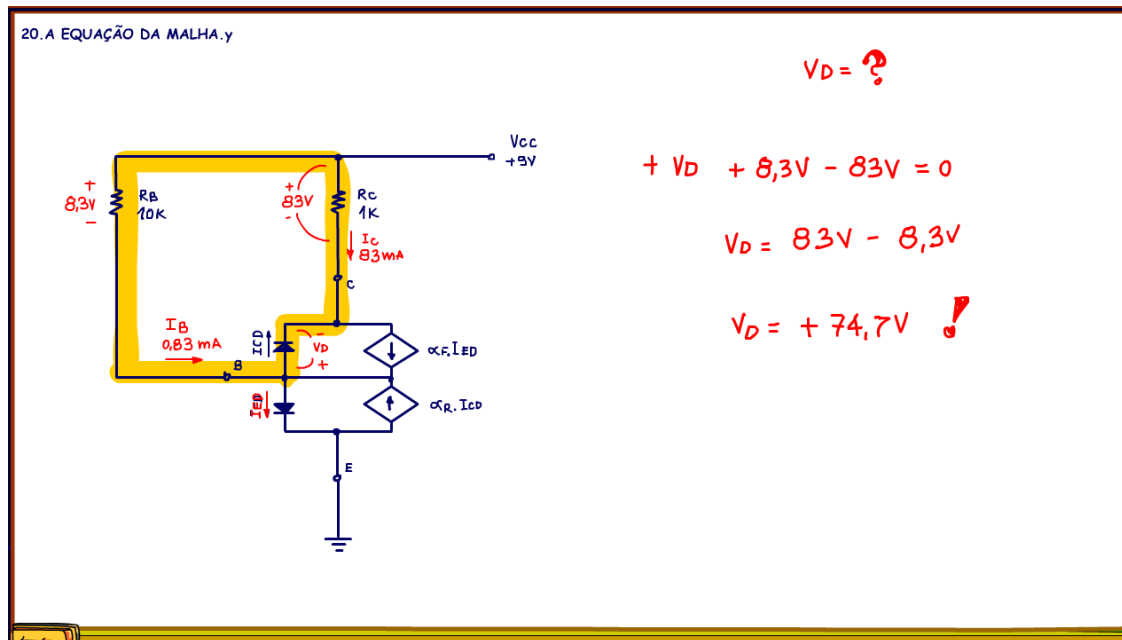


Para determinar a tensão no diodo é só usar a malha da figura, considerando o diodo conduzindo, então, o positivo da tensão está no anodo!

Se a tensão no diodo for negativa, então o diodo realmente está aberto, mas se a tensão for positiva, então o diodo tem que ser considerado diretamente polarizado.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 20.A EQUAÇÃO DA MALHA.



Vou levantar a equação da malha seguindo no sentido horário e começando pelo diodo:

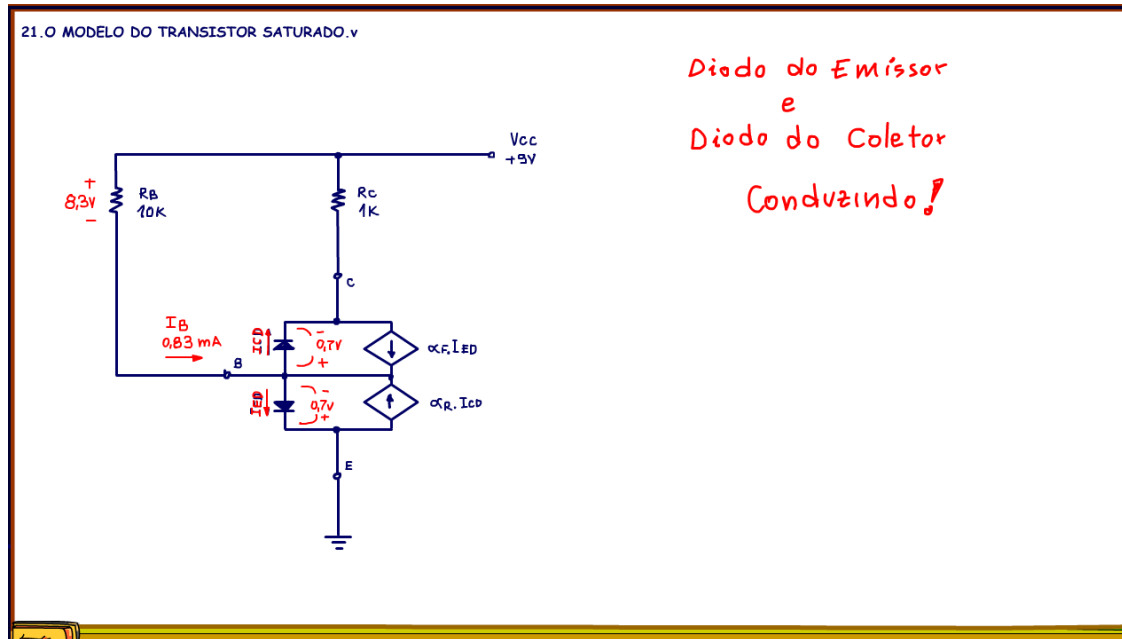
Mais a tensão no diodo mais a tensão de 8,3V sobre a resistência de base menos a tensão de 83 V na resistência de coletor, tudo isso é igual a zero.

Isolando a tensão no diodo, calculando fica: +74,7 V, viu positivo então o diodo está conduzindo!

Por isso esse absurdo de tensão, o modelo simplificado está errado, o modelo Ebers-Moll explica isso bem direitinho.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

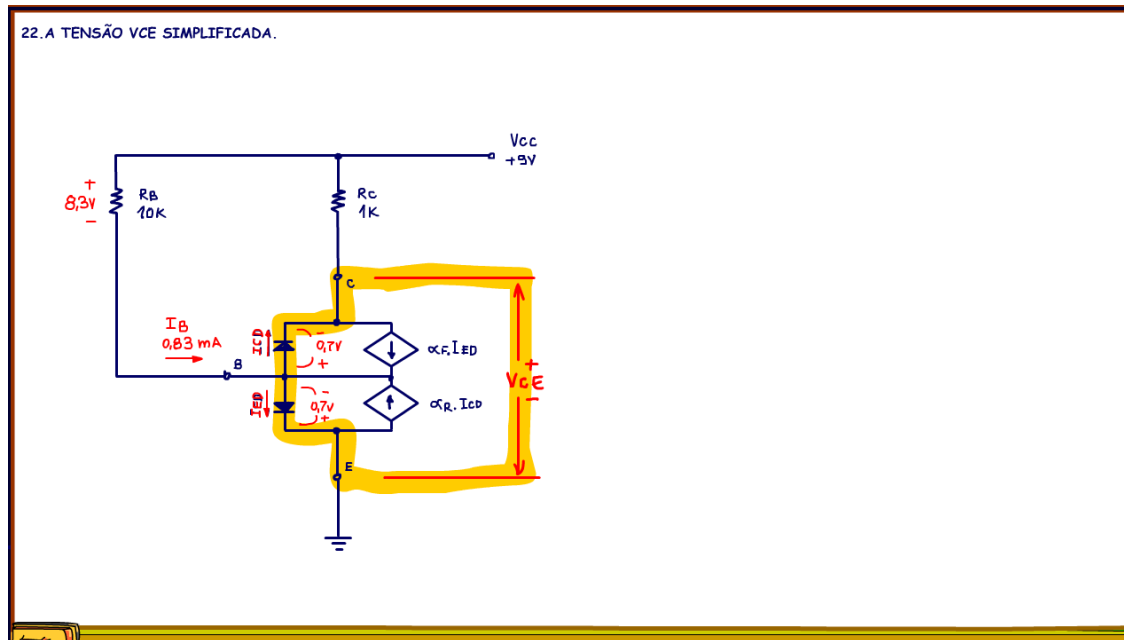
### 21.O MODELO DO TRANSISTOR SATURADO.



O modelo simplificado, ou o modelo Ebers-Moll só com o diodo de emissor, serviam bem para o transistor na região ativa, trabalhando como amplificador, mas quando o transistor está saturado elas falham, mas o modelo de Ebers-Moll serve para os dois casos, no caso do transistor saturado o modelo é esse da figura com os dois diodos conduzindo, viu a diferença, agora os dois diodos estão desenhados no circuito.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

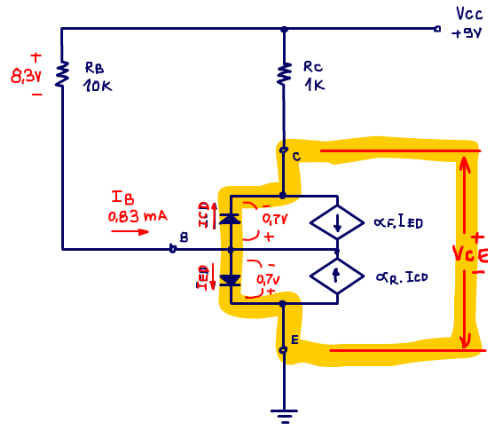
### 22.A TENSÃO VCE SIMPLIFICADA.



Agora fica fácil entender que a tensão VCE é zero volt, é só fazer a malha da figura passando pelos dois diodos.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

22.A TENSÃO VCE SIMPLIFICADA.



$$+V_{CE} + V_{BE} - V_{BC} = 0$$

$$+V_{CE} + 0,7V - 0,7V = 0$$

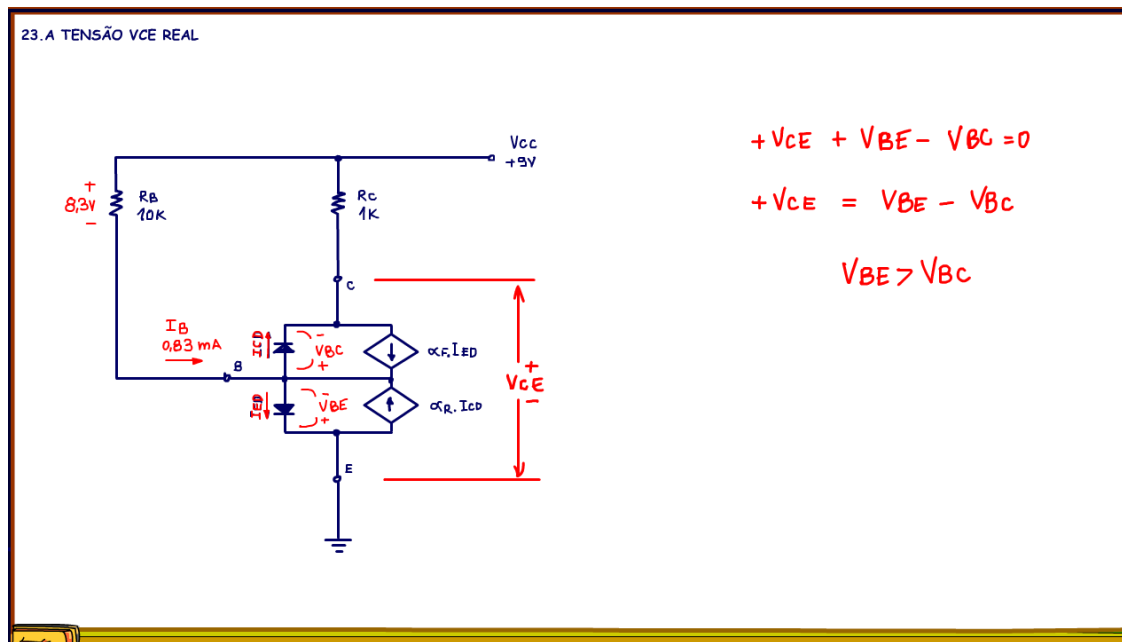
$$V_{CE} = 0V \quad !$$

Se as tensões nos dois diodos forem iguais, então um anula o outro e pronto a tensão VCE é igual a zero, e se alguém perguntar por quê?

Não precisa ficar inventando estória, é dizer que foi o Sr. Eber e o Sr. Moll quem disseram e pronto, está justificado!

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 23. A TENSÃO VCE REAL



Na verdade, para que as tensões nos dois diodos sejam exatamente iguais as correntes teriam que ser exatamente iguais, mas a corrente no diodo do emissor é um pouco maior, claro tem que somar a corrente de base, então a tensão base emissor é um pouco maior do que a tensão base coletor, é essa diferença de tensão que aparece entre o coletor e o emissor do transistor saturado real, e que consta em todo o data sheet.

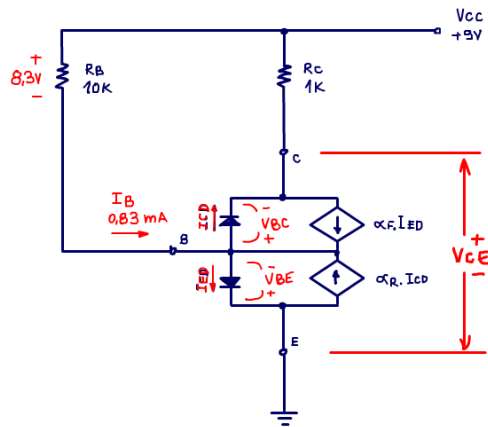
Na prática a diferença de tensão entre os diodos fica entre 0V e 0,4V, quanto maior a corrente de base mais próximo do zero fica a tensão entre o coletor e o emissor, por isso a regra dos 10% funciona tão bem, a

tensão VCE fica da ordem de 0,01 V.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 24. POLARIZANDO O TRANSISTOR NA SATURAÇÃO

24. POLARIZANDO O TRANSISTOR NA SATURAÇÃO



$$+V_{CE} + V_{BE} - V_{BC} = 0$$

$$+V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

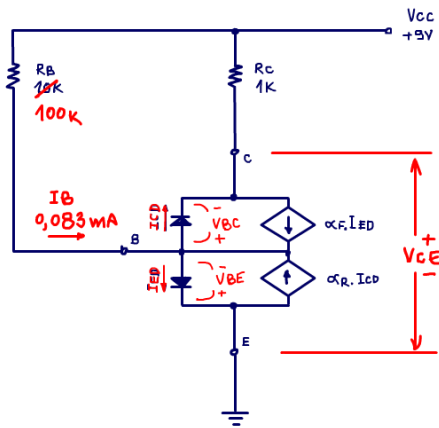
$$V_{CE} = 0,766 - 0,726$$

$$V_{CE} = 0,04V$$

No circuito desse exemplo foi usado a regra dos 10%, a resistência de base é igual a resistência de coletor vezes dez, montei o circuito só para conferir e medi a tensão VCE que ficou em 0,04V.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

24.POLARIZANDO O TRANSISTOR NA SATURAÇÃO



$$+V_{CE} + V_{BE} - V_{BC} = 0$$

$$+V_{CE} = V_{BE} - V_{BC}$$

$$V_{CE} = 0,718 - 0,618$$

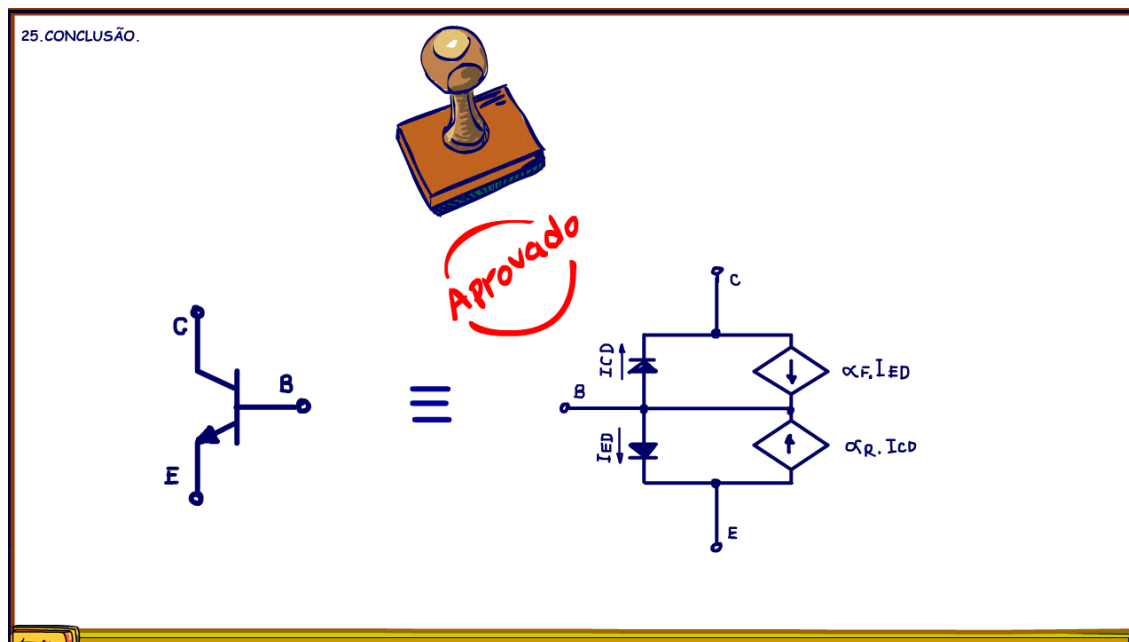
$$V_{CE} = 0,1 \text{ V}$$

Depois botei uma resistência de 100 kOHM na base a tensão coletor emissor aumentou para 0,1V, o transistor continuou saturado, mas a tensão subiu um pouquinho.



## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 25. CONCLUSÃO.



Você viu nesse tutorial como o modelo de Ebers-Moll explica com perfeição a saturação do transistor, agora não tem mais estorinha, no transistor saturado a tensão entre o coletor e o emissor é zero, quem diz isso são os senhores Ebers e Moll.

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

### 26. CRÉDITOS

E por favor, se você não é inscrito, se inscreva e marque o sininho para receber as notificações do canal e não esqueça de deixar aquele like e compartilhar para dar uma força ao canal do professor bairros.

**Arthurzinho: E não tem site.**

Tem sim é [www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com) lá você encontra o PDF e tutoriais sobre esse e outros assuntos da eletrônica

E fique atento ao canal do professor bairros para mais tutoriais sobre eletrônica, até lá!

INSCRIÇÃO YOUTUBE: <https://www.youtube.com/@professorbairros>

VISITE O SITE DO PROFESSOR BAIROS LÁ TEM O PDF E MUITO MAIS

PARA AULAS ONLINE CONTATE VIA SITE

[www.bairrospd.com](http://www.bairrospd.com)

SOM: pop alegre Mysteries -30 (fonte YOUTUBE)

## Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

20231118 Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

Vejam como Ebers e Moll explicam o transistor na saturação

O modelo de EBERS-MOLL é uma forma de explicar o comportamento do transistor de junção, esse modelo é especialmente prático para mostrar o transistor de junção na saturação.

É isso que eu vou mostrar nesse tutorial.

Assuntos relacionados.

Quanta teoria eu preciso para trabalhar com eletrônica?: <https://youtu.be/-5T6T3sljDo>

SEO:

Modelo de Ebers-Moll, transistor, transistor na saturação, analisando circuito com transistor saturado, explicando o transistor na saturação,

YOUTUBE: <https://youtu.be/YzfS0jdMy1I>

Esse modelo explica a saturação como nenhum outro..