

3

Modelagem de células solares com poços quânticos

3.1

Modelo de Anderson

Em 1995, Neal Anderson propôs um modelo baseado na tradicional equação de Shockley para junção PN (equação 2-1 com $J_{ph} = 0$) [30]. Na sua abordagem foram inseridos termos na equação que representassem a contribuição da recombinação e geração de portadores na região intrínseca devido a iluminação. Seu modelo foi construído sobre as premissas de total absorção de fótons com energia acima do *gap* do poço, propriedades recombinativas do poço não são afetadas pela quantização dos níveis e separação constante dos níveis de quasi-fermi de buracos e elétrons ao longo de toda a região intrínseca.

De acordo com Anderson, a densidade de corrente em função da tensão em um dispositivo PIN sem poços quânticos na camada intrínseca pode ser escrita como na equação 3-1

$$J(V) = J_0(e^{\frac{qV}{k_bT}} - 1) - J_G + J_R + J_{nR} \quad (3-1)$$

Onde os J_G , J_R e J_{nR} são a densidade de corrente de geração, recombinação radiativa e não-radiativa respectivamente. Os demais termos tem o mesmo significado anteriormente mencionado. J_G , J_R e J_{nR} podem ser expressos como nas equações 3-2, 3-3 e 3-4

$$J_G = qWG_B = qW(G_{Bopt} + G_{Bth}) \quad (3-2)$$

$$J_R = qWG_R = qWB_B n_B p_B = qWB_B n_{iB} e^{\frac{qV}{k_bT}} \quad (3-3)$$

$$J_{nR} = qWA_B n_{iB} \quad (3-4)$$

Onde W é a largura da camada intrínseca, G_{Bopt} e G_{Bth} são respectivamente as taxas de geração ótica e térmica através da região intrínseca, A_B é o coeficiente de recombinação não-radioativa, B_B é o coeficiente de recombinação radioativa e n_{iB} é a concentração intrínseca de portadores.

Para a obtenção de uma relação JxV mais simplificada e direta, pode-se substituir as equações 3-2 e 3-3 em 3-1e notando que $G_{Bth} = B_B n_{iB}^2$ [31, 32] e

$qWG_{B_{opt}} = J_{ph}$, onde J_{ph} é a fotocorrente gerada definida conforme a equação 2-4. Manipulando algebricamente o resultado obtido chega-se na equação 3-5

$$J(V) = J_0(1 + \beta) \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) + \alpha \left(e^{\frac{qV}{2kT}} - 1 \right) - J_{ph} \quad (3-5)$$

onde,

$$\beta = \frac{qWB_B n_{iB}^2}{J_0} \quad (3-6)$$

$$\alpha = qWA_B n_{iB}^2 \quad (3-7)$$

A equação 3-5 em conjunto com as equações 3-6 e 3-7 descrevem uma célula solar PIN de homojunção sem poços quânticos. Pode-se notar que a redução de α e β leva a um aumento na tensão de circuito-aberto, estes parâmetros são dependentes unicamente da espessura do dispositivo e de características próprias do semiconductor usado. Deste modo, espera-se que a inserção de poços quânticos na camada intrínseca do dispositivo não traga mudanças significativas nos valores de α e β e conseqüentemente na tensão de circuito-aberto, enquanto proporcione um aumento no valor de J_{ph} causado pela absorção de fótons nos poços. Se considerar a ordem de grandeza típica dos valores da equação 3-5 a corrente de curto-circuito pode ser aproximada pela fotocorrente, logo a inserção de poços quânticos tem efeito direto na corrente de curto-circuito.

Anderson modificou a forma de calcular as correntes de geração e recombinação, conforme descritas até então, para que os efeitos da inserção de poços quânticos na densidade de corrente total fossem considerados. As próximas seções se ocuparão de detalhar como foram realizadas as alterações.

3.1.1

Densidade de corrente de recombinação

Os processos de recombinação radioativa e não radioativa são de grande relevância para dispositivos que possuem poços quânticos não dopados em sua estrutura. De forma a inserir a contribuição desses processos na composição final da densidade de corrente, pode-se decompor a corrente de recombinação de acordo com a equação 3-8

$$J_R = J_{RW} + J_{RB} + J_{nRW} + J_{nRB} \quad (3-8)$$

Onde J_{RB} e J_{RW} são a densidade de corrente de recombinação radioativa e J_{nRB} e J_{nRW} são a densidade de corrente de recombinação não radioativa na barreira e nos poços respectivamente. Anderson definiu o termo f_w que indica a fração da camada intrínseca ocupada por poços quânticos. Adotando pro-

cedimento similar para descrição da corrente de recombinação em dispositivos sem poços quânticos chega-se as equações 3-9 e 3-10.

$$J_{RW} = qf_w W G_{RW} = qf_w W B_W n_W p_W = qf_w W B_W n_{iW} e^{\frac{qV}{k_b T}} \quad (3-9)$$

$$J_{RB} = q(1-f_w) W G_{RB} = q(1-f_w) W B_B n_B p_B = q(1-f_w) W B_B n_{iB} e^{\frac{qV}{k_b T}} \quad (3-10)$$

Os termos possuem seus significados já descritos anteriormente, porém deve-se atentar para o fato que o sub-índice 'W' se refere aos poços e o sub-índice 'B' se refere a barreira.

Anderson considerou que o mecanismo dominante durante o processo de recombinação não-radiativa é a recombinação SRH. Dessa forma, as equações obtidas são similares para o caso sem poços quânticos sendo novamente utilizado o termo f_w .

$$J_{nR} = qf_w W A_W n_{iW} \quad (3-11)$$

$$J_{pR} = q(1-f_w) W A_B n_{iB} \quad (3-12)$$

Os símbolos representam as mesmas grandezas descritas anteriormente, sendo os sub-índices novamente utilizados para distinção entre barreira e poço.

Pode-se demonstrar que o tempo de vida na recombinação SRH (τ) é aproximadamente independente da concentração de portadores [31, 32] e se também assumirmos simetria entre a banda de valência e de condução na região intrínseca, o coeficiente de recombinação não-radiativa pode ser expresso em função de τ , que é uma maneira mais usual e conveniente.

$$A = \frac{1}{\tau} \quad (3-13)$$

3.1.2

Densidade de corrente de geração

A equação 3-2 pode ser facilmente modificada para incluir os efeitos da inserção de poços quânticos, é necessário somente adicionar o termo f_w em sua expressão.

$$J_G = qW(G_B + G_W) = q(1-f_w)W(G_{B_{opt}} + G_{B_{th}}) + qf_w W(G_{W_{opt}} + G_{W_{th}}) \quad (3-14)$$

Os termos $G_{B_{th}}$ e $G_{W_{th}}$ que representam a recombinação térmica podem ser substituídos pela relação $G = Bn_i$, como foi feito anteriormente para o caso do dispositivo sem poços. $q(1-f_w)G_{B_{opt}}$ e $qf_w G_{W_{opt}}$ são respectivamente

a fotocorrente provocada pela absorção de fótons na barreira e no poço. Estes talvez sejam os termos mais importantes no processo de geração, pois quantificam o aumento provocado na corrente de curto-circuito pela adição de poços quânticos.

3.1.3 Fotocorrente

De forma a simplificar a notação pode-se escrever a fotocorrente gerada na camada intrínseca de acordo com a expressão 3-15.

$$J_{ph} = q(1 - f_w)G_{Bopt} + qf_wG_{Wopt} \quad (3-15)$$

Anderson desprezou o efeito da quantização dos níveis de energia no poço quântico para o processo de absorção e considerou a camada intrínseca longa o suficiente para que todos os fótons com energia maior que o *gap* do material do poço fossem absorvidos. Com isso, a fotocorrente no modelo de Anderson pode ser dada pela equação 3-16.

$$J_{ph} = q\phi_W \quad (3-16)$$

Onde ϕ_W é o fluxo de fótons com energia maior que o *gap* do poço.

3.1.4 Equação corrente-tensão

A equação característica de uma célula solar com poços quânticos pode ser obtida substituindo as equações descritas nas três últimas seções em 3-1. Por razões de simplificação Anderson introduziu os parâmetros definidos nas equações 3-17, 3-18 e 3-19.

$$\gamma_B = \frac{B_W}{B_B} \quad (3-17)$$

$$\gamma_{DOS} = \frac{g_W}{g_B} \quad (3-18)$$

$$\gamma_A = \frac{A_W}{A_B} \quad (3-19)$$

Além disso, é possível relacionar a concentração intrínseca de portadores na barreira com a dos poços através das equações 3-20 e 3-21

$$n_{iW}^2 = g_W e^{\frac{-E_{gw}}{k_b T}} \quad (3-20)$$

$$n_{iB}^2 = g_B e^{\frac{-E_{gb}}{k_b T}} \quad (3-21)$$

Realizando uma substituição simples utilizando as equações anteriores é possível chegar na relação 3-22.

$$n_{iW}^2 = n_{iB}^2 \gamma_{DOS} e^{\frac{\Delta E}{k_b T}} \quad (3-22)$$

Em que $\Delta E = E_{gb} - E_{gw}$. Utilizando estas simplificações e com manipulações algébricas se chega na forma final da relação corrente-tensão conforme proposta por Anderson e exposta em 3-23.

$$J(V) = J_0(1 + r_r \beta) \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) + r_{nr} \alpha \left(e^{\frac{qV}{2kT}} - 1 \right) - J_{ph} \quad (3-23)$$

Onde r_r e r_{nr} são as razões de incremento nos processos de recombinação radiativa e não radiativa na camada intrínseca devido a presença de poços quânticos. Suas expressões são apresentadas em 3-24 e 3-25.

$$r_r = 1 + f_w \left(\gamma_B \gamma_{DOS}^2 e^{\frac{\Delta E}{kT}} - 1 \right) \quad (3-24)$$

$$r_{nr} = 1 + f_w \left(\gamma_A \gamma_{DOS} e^{\frac{\Delta E}{2kT}} - 1 \right) \quad (3-25)$$

Nota-se que a eliminação dos poços quânticos na camada intrínseca, que pode ser feita assumindo poços com tamanho nulo ($f_w = 0$) e com o mesmo material da barreira ($\Delta E = 0$), a equação 3-23 se reduz a 3-5 que é análoga porém sem poços.

As premissas impostas por Anderson ao seu modelo, principalmente a não quantização da absorção nos poços quânticos podem não ser muito realistas até porque não há nenhuma indicação de quantidade mínima de poços para que se considere total absorção de fótons com energia acima do *gap* do poço. As modificações seguintes ao modelo de Anderson tem por objetivo relaxar estas premissas.

3.2

Modelo de Rimada

Rimada e Hernández propuseram modificações ao modelo de Anderson em 2001 [29]. Os dois principais aspectos abordados foram a discretização da absorção nos poços e a recombinação na interface poço/barreira até então não considerada.

3.2.1

Recombinação nas interfaces

Durante o processo de fabricação da junção metalúrgica de dois materiais surgem defeitos que servem como pontos de recombinação que contribuem para o aumento da corrente de escuro, degradando a eficiência energética do dispositivo. Rimada definiu a corrente que aparece no dispositivo devido a recombinação nas interfaces (J_{rs}) de acordo com a equação 3-26

$$J_{rs} = 2qNn_w\nu \quad (3-26)$$

Onde N é o número de poços na camada intrínseca e ν é a velocidade de recombinação na interface poço/barreira, os demais símbolos possuem significado já mencionado. Adicionando J_{rs} como mais um termo da equação 3-8 e seguindo o mesmo procedimento usado no modelo de Anderson se chega a expressão 3-27 que inclui o efeito na corrente do processo de recombinação nas interfaces.

$$J(V) = J_0(1 + r_r\beta) \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) + (r_{nr}\alpha + J_{rs}) \left(e^{\frac{qV}{2kT}} - 1 \right) - J_{ph} \quad (3-27)$$

Essa é a expressão final para relacionar a corrente no dispositivo com a tensão aplicada. As próximas alterações apresentadas terão efeito no cálculo dos termos que compõem 3-27 e não nela propriamente dita, exceto na seção 3.4 que será proposto um modelo generalizado para células solares com poços quânticos.

3.2.2 Fotocorrente

Rimada alterou o modelo de fotocorrente retirando a premissa de total absorção de fótons com energia maior que *gap* do poço. Ele definiu a fotocorrente como em 3-28.

$$J_{ph} = q(\phi_B + N\phi_W) \quad (3-28)$$

Onde ϕ_B e ϕ_W são o fluxo de fótons absorvidos na barreira e no poço respectivamente. Rimada diferenciou a absorção entre os poços e barreiras. Ele considerou que os poços são finos o suficiente para que fenômenos quânticos fossem relevantes para o processo de absorção. Dessa forma ele definiu ϕ_B e ϕ_W de acordo com as equações 3-29 e 3-30.

$$\phi_B = \int_{E_B}^{\infty} N_{ph} e^{\alpha_B(E)W} dE \quad (3-29)$$

$$\phi_W = \sum_{n=1}^{N_s} N_{ph} e^{\alpha_W(E)L_W} \Delta E_n \quad (3-30)$$

Em que N_{ph} é o fluxo espectral de fótons, α_B e α_W são os coeficientes de absorção para a barreira e poço, W é a espessura da camada intrínseca, L_W a largura do poço, E_b o menor nível energético na banda de condução da barreira, N_s é o número de estados de transição permitido, E_n o n -ésimo nível energético no poço e ΔE_n a largura de linha do n -ésimo nível de transição.

O coeficiente de absorção nos poços quânticos

O coeficiente de absorção de materiais volumétricos não pode ser aplicado para poços quânticos devido a sua dimensão. Nesse caso, usa-se a regra de ouro de fermi para calcular a taxa de transição de portadores entre dois níveis quaisquer do poço quando a estrutura está submetida a um campo eletromagnético (luz). Detalhes de como realizar este processo podem ser encontrados em [33]. Rimada calculou o coeficiente de absorção de poços quânticos utilizando a expressão 3-31.

$$\alpha_W(E) = \sum_{n,m} \alpha_{e_n-hh_m}(E) + \sum_{n,m} \alpha_{e_n-lh_m}(E) \quad (3-31)$$

Onde $\alpha_{e_n-hh_m}$ denota a taxa de transição do m-ésimo nível de buracos pesados para o n-ésimo nível de elétrons, o mesmo se aplica a $\alpha_{e_n-lh_m}$ para o caso de buracos leves. A ideia por trás de 3-31 é contabilizar a contribuição de cada possível transição entre dois níveis para o coeficiente de absorção final. Rimada considerou que as únicas transições possíveis ocorrem quando $n = m$ para todas as outras o valor de $\alpha_{e_n-hh_m}$ e $\alpha_{e_n-lh_m}$ são nulos. Para se calcular $\alpha_{e_n-hh_m}$ ele utilizou a expressão 3-36.

$$\alpha_{e_n-hh_m} = \frac{\pi q^2 E_p}{\epsilon_W n_r c E W \hbar m_0} \frac{m_{e,Wxy} m_{hh,Wxy}}{m_{e,Wxy} + m_{hh,Wxy}} \delta_{EE_n} \quad (3-32)$$

Em que n_r é o índice de refração do material que forma o poço, c a velocidade da luz no vácuo, ϵ_W a permissividade elétrica, W o tamanho do poço, E é a energia para qual se deseja calcular a taxa de transição, δ_{EE_n} é o delta de Kronecker, tal que $\delta_{ij} = 1$ para $i = j$ caso contrário possui valor nulo, E_p é o elemento matricial da regra de ouro de Fermi e pode ter seu valor aproximado de 23 eV para os materiais do grupo III-V [34], $m_{e,Wxy}$ e $m_{hh,Wxy}$ a massa efetiva do elétron e do buraco pesado no plano paralelo a direção de crescimento.

A expressão para $\alpha_{e_n-lh_m}$ é similar, basta apenas substituir as massas efetivas de buracos pesados pela de buracos leves e multiplicar a expressão total por sua terça parte. Essa redução se justifica no fato que a transição entre buracos pesados e elétrons é três vezes mais intensa do que a transição com buracos leves [34].

Pode-se perceber pela formulação de Rimada que o espectro de absorção nos poços ocorre em formato de picos, pois devido ao delta de Kronecker a equação 3-31 só terá valores diferentes de zero para energias coincidentes com as energias de transição.

3.3

Modelo de Rimada-Lade

No ano de 2004 Lade e Zahedi realizaram a revisão do modelo de Rimada propondo modificações e retificações [35]. O principal questionamento de Lade foi sobre a abordagem de Rimada sobre a fotocorrente e o cálculo da absorção nos poços quânticos. Rimada em 2007 estendeu o trabalho de Lade adicionando a contribuição das camadas N e P para a fotocorrente [28].

3.3.1

Fotocorrente

Rimada cometeu dois equívocos na formulação de seu modelo para fotocorrente. O primeiro se encontra na formulação das equações 3-29 e 3-30. De acordo com as expressões a quantidade de fótons absorvidos é maior do que a de fótons incididos. É possível notar este fato observando as exponenciais presentes nas duas equações, ambas possuem seus expoentes positivos que ao multiplicar pelo fluxo de fótons incididos (N_{ph}) proporciona um aumento no número de fótons absorvidos superior a quantidade disponível para absorção.

O segundo equívoco ocorre na expressão 3-28. Rimada desconsidera que os fótons absorvidos em um determinado poço e sua barreira não estarão disponíveis para os seguintes. Em sua formulação o fluxo de fótons absorvidos por um poço sem atenuação é multiplicado pela quantidade de poços, dessa forma nenhum poço sofrerá os efeitos da atenuação provocado pela absorção em seus vizinhos anteriores no sentido da propagação da luz.

Lade optou por utilizar a expressão descrita em 2-4 que utiliza a eficiência quântica para calcular a fotocorrente. Para determinar a eficiência quântica na camada intrínseca, Lade prosseguiu conforme descrito a seguir.

Eficiência quântica na camada intrínseca

O coeficiente de absorção espectral, $\alpha(E, x)$ onde E é a energia no espectro e x a posição pode ser definido de tal maneira que a intensidade da luz ($b(E, x)$) em um intervalo infinitesimal dx pode ser expressa por $db = b(E, x)\alpha(E, x)dx$. Resolvendo esta equação diferencial no intervalo $[0, x]$ obtêm-se a expressão 3-33 para determinar intensidade da luz em qualquer ponto do material.

$$b(E, x) = b(E, 0)e^{\int_0^x \alpha(E, x')dx'} \quad (3-33)$$

Considerando α constante, o total de luz absorvida pode ser obtido subtraindo a intensidade de luz no ponto zero da intensidade de luz em um ponto x qualquer ($b(E, 0) - b(E, x)$), chegando-se na expressão 3-34.

$$b(E, 0)(1 - e^{(-\alpha(E)x)}) \quad (3-34)$$

O termo $(1 - e^{(-\alpha(E)x)})$ é a fração de fótons absorvidos pelo semicondutor, logo ele seria a eficiência quântica do material conforme definição apresentada na seção 2-4.

Tratando os níveis de energia dos poços que se situam acima da barreira como tendo as mesmas características de absorção do material volumétrico e considerando a camada intrínseca homogênea é possível definir sua eficiência quântica como sendo a expressão 3-35

$$EQ_i = 1 - e^{(-\alpha_B(E)W - N_W \alpha_W(E)L_W - \alpha_N(L_B + L_E))} \quad (3-35)$$

Onde α_B , α_W e α_N são os coeficientes de absorção da barreira, poço e zona neutra respectivamente. L_W é a largura do poço, L_B e L_E são o tamanho da zona de depleção no lado N e no lado P respectivamente, Lade originalmente não havia considerado estes termos para a contribuição na eficiência quântica da camada intrínseca, Rimada os introduziu em seu trabalho de 2007.

Eficiência quântica nas camadas N e P

Lade em seu trabalho original de 2003 só havia considerado para a geração de corrente a absorção que ocorre na camada intrínseca, negligenciando a contribuição das camadas N e P. Rimada em 2007 inclui essa contribuição ao modelo. De fato, este fenômeno era conhecido já que é a base para o funcionamento de células fotovoltaicas com junção PN, porém não havia sido considerado em nenhum dos modelos anteriores. O mérito de Rimada reside na percepção que a absorção nessas camadas não podiam ser negligenciadas para células solares com poços quânticos. A dedução das equações para a fotocorrente das camadas N e P pode ser encontrada em diversos livros sobre física de semicondutores [7, 8].

A eficiência quântica total do dispositivo pode ser obtida somando a contribuição de cada camada, $QE = QE_p + QE_i + QE_n$, onde os índices p, i e n se referem a camada P, camada intrínseca e camada N respectivamente. As expressões para QE_p e QE_n foram suprimidas, pois são consideravelmente extensas e podem ser encontradas com facilidade em diversas fontes, em particular em [7].

3.3.2

Coeficiente de absorção

Lade notou que a formulação de Rimada para o coeficiente de absorção nos poços quânticos não era totalmente verdadeira. Como mencionado anteriormente, Rimada considera que a absorção ocorre em picos, esta premissa é falsa pois a discretização da energia nos poços quânticos ocorre apenas na direção de crescimento gerando sub-bandas. De acordo com Bastard [34] a absorção nos poços quânticos têm formato de degrau, devido às sub-bandas, e não de picos como Rimada atestou. Lade utilizou em seu modelo a equação 3-36 que foi sugerida por Bastard para o cálculo do coeficiente de absorção.

$$\alpha_{e_n-hh_m} = \frac{\pi q^2 E_p}{\epsilon_W n_r c E W \hbar m_0} \frac{m_{e,Wxy} m_{hh,Wxy}}{m_{e,Wxy} + m_{hh,Wxy}} \Theta_{E_n-E} \quad (3-36)$$

Onde a única diferença para a equação de Rimada é a troca do delta de Kronecker pela função Heavside ou degrau ($\Theta(E-E_n)$). Este termo dá o aspecto de degrau ao coeficiente de absorção nos poços quânticos.

3.4

Modelo com poços quânticos heterogêneos

Neste trabalho é proposto uma nova disposição de poços quânticos na camada intrínseca. Este modelo permite a inserção de poços com profundidade e largura variável ao longo da camada. O objetivo é aumentar a quantidade de níveis disponíveis para absorção e diminuir os efeitos causados pela alta concentração intrínseca para materiais com baixo *gap* utilizados na barreira. Este último será exposto com mais detalhe no capítulo 5.

A implementação dessa ideia é realizada dividindo-se a camada intrínseca em k diferentes regiões em que cada região tem seu conjunto de poços com largura e profundidade diferente das demais, conforme figura 3.1.

A partir de então redefine-se a densidade de corrente de recombinação e geração de acordo com as equações 3-37 e 3-38.

$$J_R = J_{RW}^1 + J_{RB}^1 + J_{nRW}^1 + J_{nRW}^1 + J_{rs}^1 + \dots + J_{RW}^k + J_{RB}^k + J_{nRW}^k + J_{nRW}^k + J_{rs}^k \quad (3-37)$$

$$J_G = J_{GW}^1 + J_{GB}^1 + \dots + J_{GW}^k + J_{GB}^k \quad (3-38)$$

Onde k se refere a k -ésima região da camada intrínseca, alerta-se para o fato de que a corrente de recombinação gerada pelos defeitos na superfície poço/barreira já está inserida na equação 3-37 pelo termo J_{rs} .

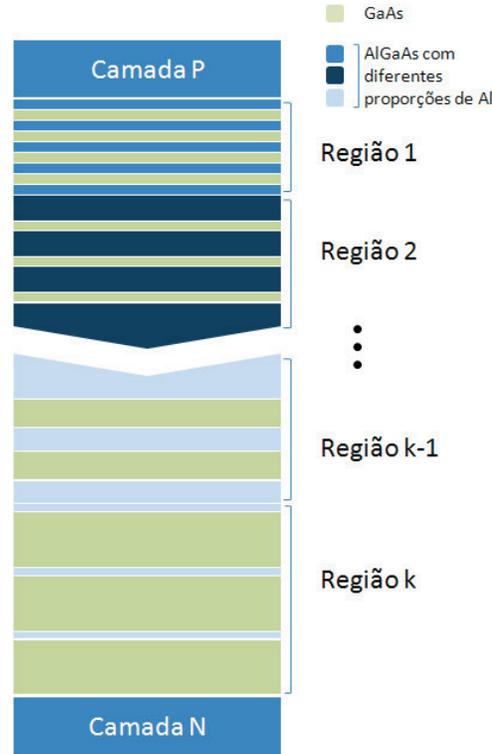


Figura 3.1: Estrutura de uma célula solar com poços quânticos heterogêneos de GaAs/AlGaAs

Com esta nova definição procede-se da mesma maneira como descrito nas seções anteriores para se obter a relação final corrente-tensão, de acordo com a expressão 3-39.

$$\begin{aligned}
 J(V) = & J_0(1 + r_r^k \beta_1^k + \dots + r_r^k \beta^k) \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \\
 & + (r_{nr}^1 \alpha^1 + J_{rs}^1 + \dots + r_{nr}^k \alpha^k + J_{rs}^k) \left(e^{\frac{qV}{2kT}} - 1 \right) \\
 & - J_{ph}^1 - \dots - J_{ph}^k
 \end{aligned} \tag{3-39}$$

Percebe-se que durante a dedução das equações nas seções anteriores não se faz nenhuma restrição sobre a localização dos poços quânticos, logo a forma de construir o dispositivo descrito na figura 3.2 é meramente didática pois os poços podem estar distribuídos de uma maneira diferente e não necessariamente em regiões com mesmo perfil de poços. A única coisa relevante é agrupar matematicamente os poços com mesmo perfil. Para ilustrar esta ideia considera-se a figura 3.2.

É possível notar que três tipos diferentes de poços denominados de A, B e

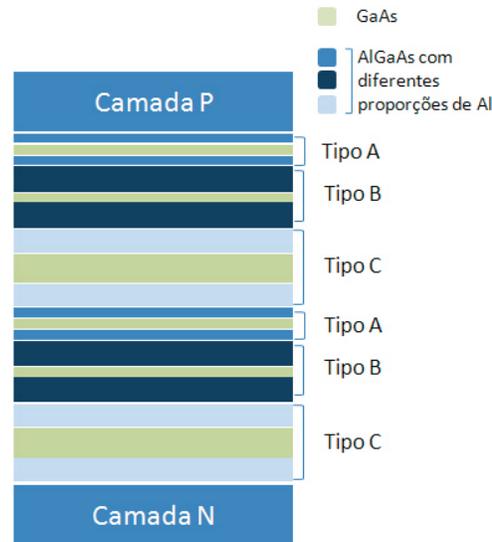


Figura 3.2: Exemplo de uma distribuição de poços ao longo da camada intrínseca

C. Logo, ao resolver as expressões do modelo para este dispositivo, considera-se que terão 3 regiões em que cada uma possuirá um tipo distinto de poço.

A importância dessa discussão reside no fato que para camadas muito extensas, a atenuação causada pela absorção nos poços que se localizam mais próximos a camada P do dispositivo, passa a ser relevante para os que se localizam mais profundamente, contrariando a premissa de homogeneidade da camada intrínseca para o cálculo da fotocorrente. De forma a aproveitar a característica de absorção de cada tipo de poço sugere-se uma distribuição intercalada, embora seja necessário verificar experimentalmente a veracidade dessa afirmação.

Pode-se notar que este modelo representa a generalização do modelo Rimada-Lade. É possível reduzi-lo ao seu caso específico assumindo um único tipo de poço na camada intrínseca. Devido a esta facilidade e a necessidade de estudá-lo com mais profundidade, ele foi escolhido para atender aos propósitos desta dissertação.