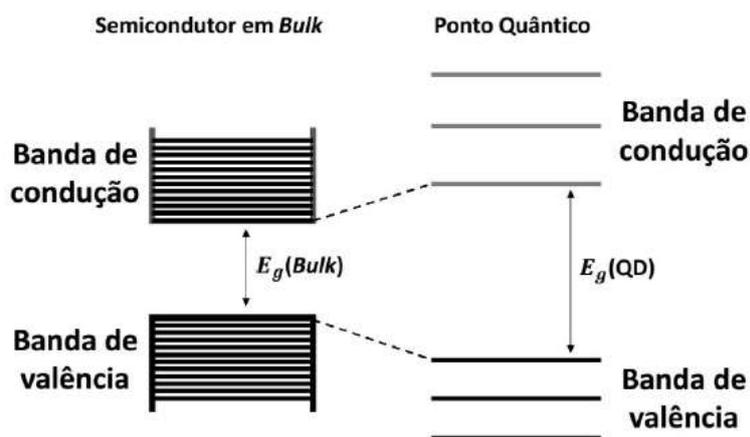




### Resumo das atividades realizada durante o período letivo da bolsa de iniciação científica:

Daremos início nesse resumo discutindo os conceitos básicos sobre os pontos quânticos e a dinâmica eletrônica de relaxamento intra-banda. Após essa discussão, que nos dará uma visão estrutural dos pontos quânticos apresentaremos o modelo experimental usado nesse projeto e os resultados obtidos.

Os pontos quânticos que também são conhecidos como quantum dots (QDs), são nanocristais cuja suas dimensões possuem tamanhos da ordem do raio de Bohr, que representa o raio entre os portadores de carga. Devido a essa aproximação entre os pares elétrons-buraco, os níveis energéticos de QDs apresentam comportamentos quantizados, diferentemente dos semicondutores do tipo *bulk*. A Figura abaixo ilustra a diferença entre os níveis energéticos de cada estrutura.

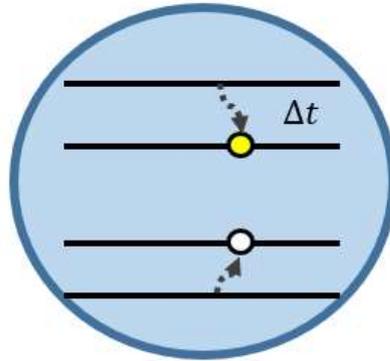


**Figura 1:** Ao lado esquerdo temos os níveis de energia de um semicondutor do tipo bulk, podemos observar que, eles assumem valores muito próximos, formando um estado contínuo. Já ao lado direito, temos uma representação dos níveis de energia de um QDs, que ilustra valores discretos e bem definidos.

Sendo assim, QDs possuem características bastante interessantes, uma vez que, podemos modula-lo de forma a alterar o grau de confinamento dos portadores de carga. Ou seja, temos o controle de mudar suas características de absorção e emissão, alterando somente seu tamanho.

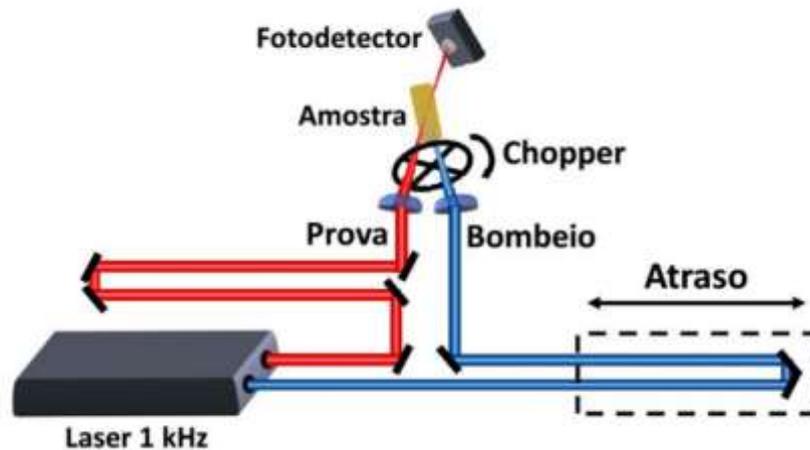
Como já mencionado, os QDs possuem estados discretos e através da espectroscopia ultrarrápida podemos mapear a posição e tempo de permanência dos portadores, em cada estado energético. Neste trabalho, estamos interessado na dinâmica de relaxamento intra-banda, conhecida comumente como *rising time*.

*Rising time* é basicamente o tempo médio que os elétrons levam para relaxarem até o fundo da banda, após serem excitados em uma transição mais energética que o *band gap*. A dinâmica eletrônica citada é ilustrada na Figura 2.



**Figura 2:** Dinâmica eletrônica de relaxamento de portadores.  $\Delta t$  a constante de tempo para que os elétrons chegam ao primeiro estado excitado.

As transições de relaxamento intra-banda ocorrem na ordem de pico segundos e, para termos condições de observá-las precisamos de experimentos que tenham respostas mais rápidas que as transições que pretendemos ver. E, nessa escala de tempo precisamos de lasers ultrarrápidos para tornar possível tais observações. Portanto, usaremos técnicas experimentais conhecidas como bombeio e prova associada à um laser de femtossegundos pulsado. A Figura 3 apresenta uma montagem simplificado do sistema.



**Figura 3:** Esquema ilustrativo de um sistema de bombeio e prova, provando com um pulso monocromático.

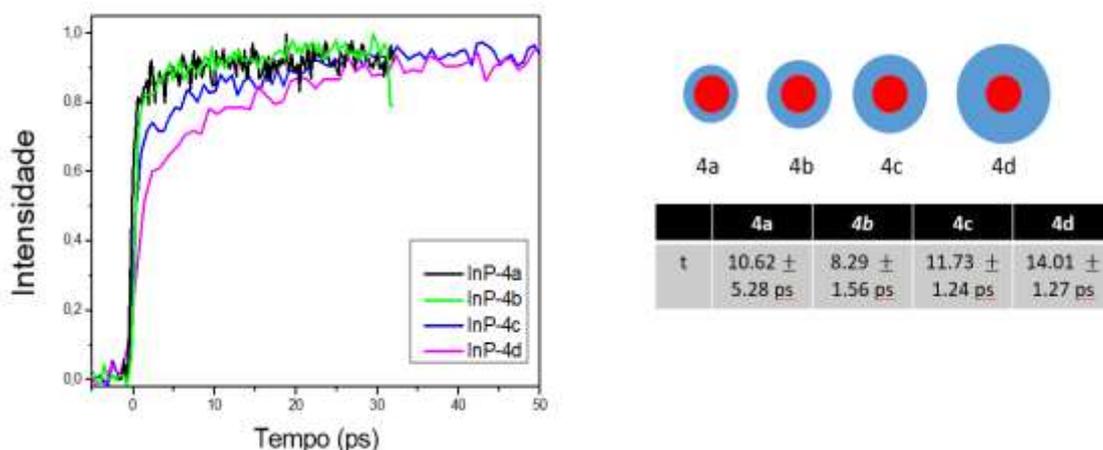
Conforme a figura acima, podemos observar que o sistema é composto por dois feixes pulsado. O feixe azul, mais energético, responsável por excitar os portadores de carga, fazendo com que haja à inversão de população. Enquanto que, o feixe vermelho representa a prova, que capitará as alterações sofrida na amostra com relação ao tempo de chegada do bombeio. Quanto maior a diferença entre os feixes a dinâmica eletrônica terá mais tempo para evoluir. Sendo assim, ajustamos o experimento para que ambos os feixes cheguem praticamente ao mesmo tempo e, gradativamente vamos aumentado esse tempo entre eles, através do atraso, fazendo assim uma varredura na dinâmica eletrônico do nanomaterial. Deste modo detectamos as posições dos portadores e seu tempo de permanência nos estados excitados.

Agora que já temos uma ideia das principais características de um QDs partiremos para o tipo de nossas amostras. Primeiramente, estudaremos um conjunto de 4 amostras do tipo InP/ZnSe (núcleo/casca), onde apresentam mesma composição, no entanto as dimensões das cascas serão alteradas, variando entre 1 e 3 nanômetros. O principal objetivo é observar alterações no tempo das interações eletrônicas de relaxamento e entender melhor as mudanças causadas pelas cascas no nanocristal. A Tabela abaixo apresenta as dimensões.

Tabela 1:

Núcleo/Casca	1,0 (nm)	1,5 (nm)	2,5 (nm)	3,0 (nm)
3,63 (nm)	4a	4b	4c	4d

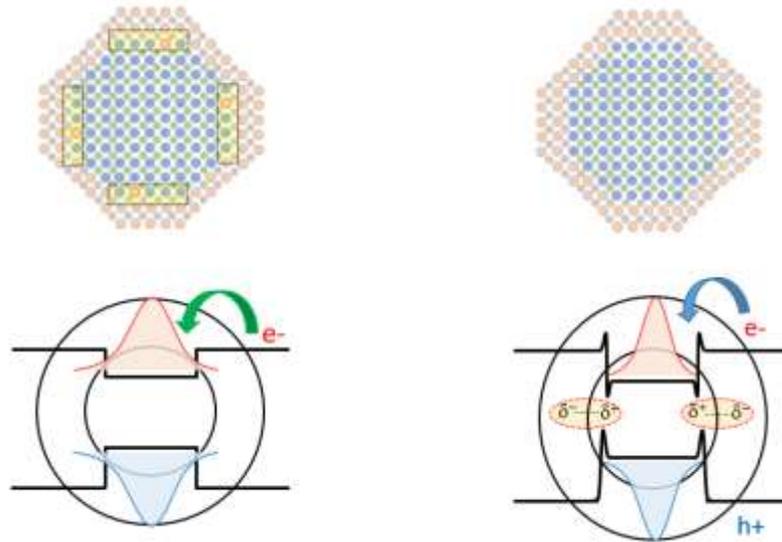
Utilizando técnicas de espectroscopia ultrarrápida, neste caso o experimento de bombeio e prova, obtivemos os seguintes resultados apresentado em Figura 4.



**Figura 4:** À esquerda temos os dados experimentais. Já à direita, apresentamos em uma tabela com os resultados obtidos e uma ilustração das diferentes amostras.

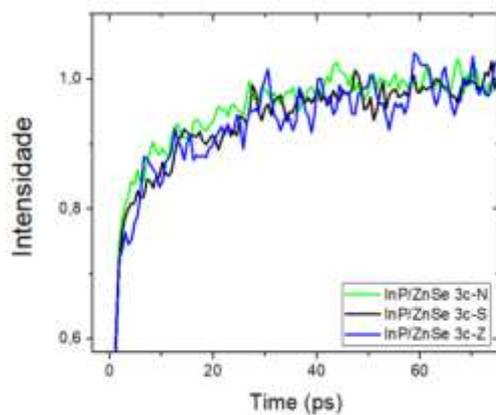
Dos resultados experimentais podemos inferir que, as mudanças realizadas nas dimensões das cascas não influenciaram significativamente na dinâmica eletrônica estudada.

Outro ponto a ser investigado nesse trabalho é que, o InP/ZnSe apresenta o tempo *risng time* bem mais lento que os outros QDs e há uma hipótese de que, durante a síntese do InP/ZnSe é possível alterar o potencial sentido pelos portadores excitados, na interfase do nanocristal. A Figura 5 apresenta a diferença de potencial de acordo com o modelo de síntese usada.



**Figura 5:** À esquerda temos um QDs com a interfase neutra onde o elétron não encontra uma barreira, portanto, seu decaimento é bem mais rápido. Já à direita, temos a situação de uma interfase carregada, onde o elétron encontra uma pequena barreira para decair, que justificaria o rising time tão lento.

Para esse estudo foram preparadas três amostras, com as mesmas dimensões, uma vez que, as dimensões podem mudar a dinâmica eletrônica do nanomaterial e neste caso estamos interessados em observar as diferenças promovidas pelas interfaces. A Figura abaixo apresenta os resultados de um conjunto de 3 amostras, sendo elas: 3c-N (interface neutra), 3c-S e 3c-Z (interface carregada).



	3c-N	3c-S	3c-Z
t	13.1 ± 0.8 ps	14.5 ± 0.9 ps	14.1 ± 1.5 ps

**Figura 6:** À esquerda temos os resultados experimentais e à direita os valores extraídos do gráfico.

Deste resultado observamos que houve uma sutil alteração de aproximadamente 1ps, mas considerando as margens de erro, não há uma mudança no comportamento do nanomaterial. Infelizmente a hipótese inicial não foi confirmada.

Apesar dos resultados apresentados neste trabalho não terem confirmado a nossa hipótese inicial, os estudos dinâmicos foram muito bem trabalhados e podem vir responder questões futuras deste nanomaterial. Desta maneira, as informações aqui presentes podem complementar bons trabalhos científicos no futuro.