

Polarização no Jobin Yvon T64000

Tatiana C. Penna

Maio/2016

Sumário

1	Introdução	2
2	Resposta das Redes e do beam splitter a diferentes polarizações	8
3	Considerações sobre a lâmina de meia onda na entrada do equipamento.	10
3.1	Macro Chamber.....	10
3.2	Micro	12
3.3	Segunda lâmina de meia onda para medidas micro	15
4	Medidas de polarização	17
4.1	Macro Chamber.....	19
4.2	Micro	20
4.2.1	Correção da resposta do beam splitter	25

1 Introdução

Este tutorial surgiu do estudo de como realizar medidas de polarização no Jobin Yvon T64000 utilizando o microscópio. Ficou claro que alguns detalhes da polarização nesse equipamento são úteis para **qualquer** usuário, independente de se querer fazer medidas de polarização. Portanto, segue nesse tutorial algumas considerações gerais acerca da polarização no Jobin Yvon T64000, que podem garantir melhora de sinal para qualquer medida, e no último capítulo, finalmente será discutido como obter medidas de polarização.

O equipamento em questão (Jobin Yvon T64000) pode ser usado em diferentes configurações. Na incidência, a amostra pode estar no microscópio ou na macro chamber (nesta, com possibilidade de alterar a geometria de coleta da radiação espalhada entre 90° e 180°). Para análise da radiação espalhada pode ser usado um único monocromador (Single) ou três (Triple). Nesse último caso poderia-se ainda optar pelo modo subtrativo ou aditivo. Para a discussão aqui exposta isso é indiferente, mas normalmente se usa o modo subtrativo. Ver figura 1.1.

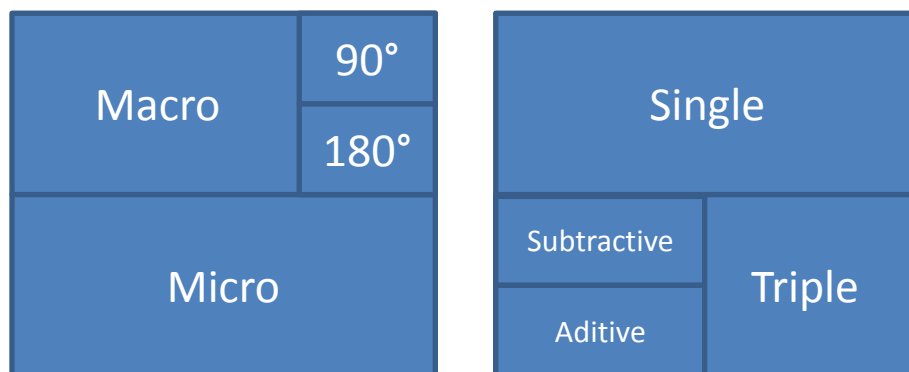
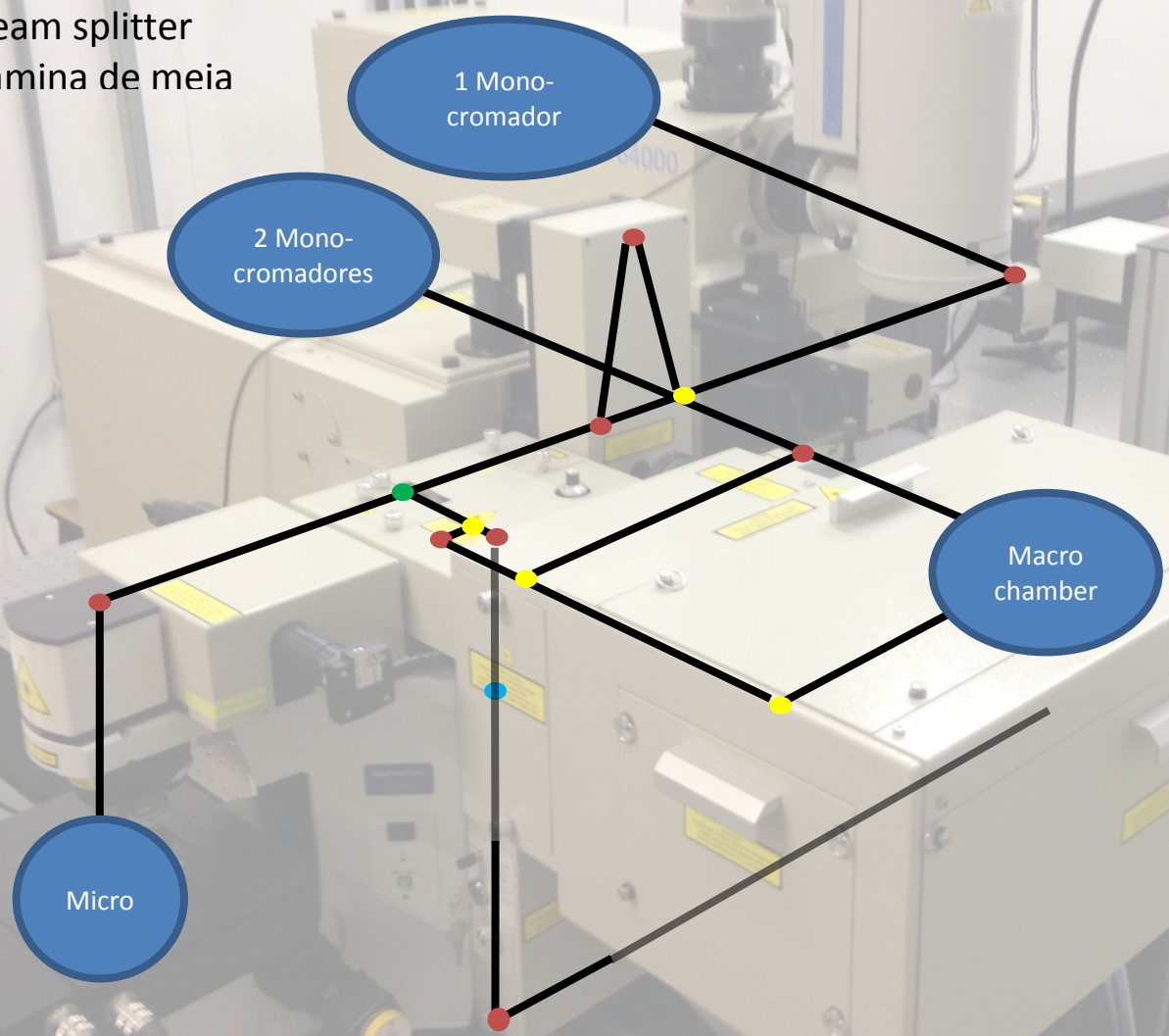


Figura 1.1. Na esquerda os modos de incidência possíveis, à direita os modos de análise.

O esquema da figura 1.2 mostra o caminho do laser no equipamento Jobin Yvon T64000 ressaltando alguns componentes ópticos e em que local no caminho do feixe eles se encontram. A alternância entre as diferentes configurações possíveis é feita via espelhos móveis, cujas funções encontram-se destacadas na figura.

- Espelho fixo
- Espelho móvel
- Beam splitter
- Lâmina de meia



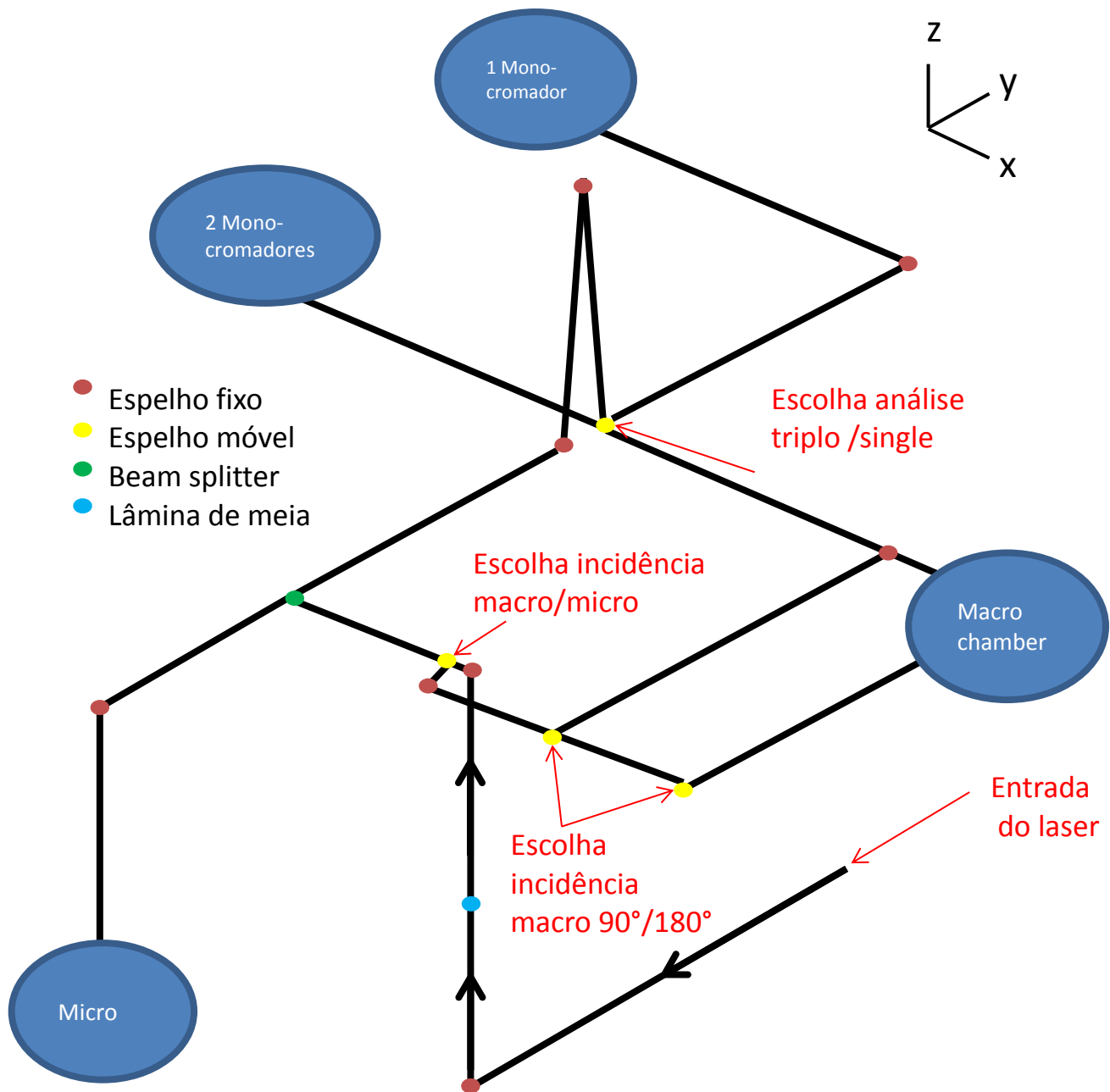


Figura 1.2. Todas as possibilidades de caminho do laser com alguns dos componentes ópticos e a posição em que se encontram. Para cada espelho móvel é possível ver qual chaveamento pode ser feito.

Na figura 1.3 é mostrado o caminho do feixe incidente para 3 configurações diferentes de análise do equipamento (micro, macro 90° e macro 180°). Já a figura 1.4 ressalta o caminho do feixe espalhado para 4 configurações de análise (macro single e triplo, micro single e triple).

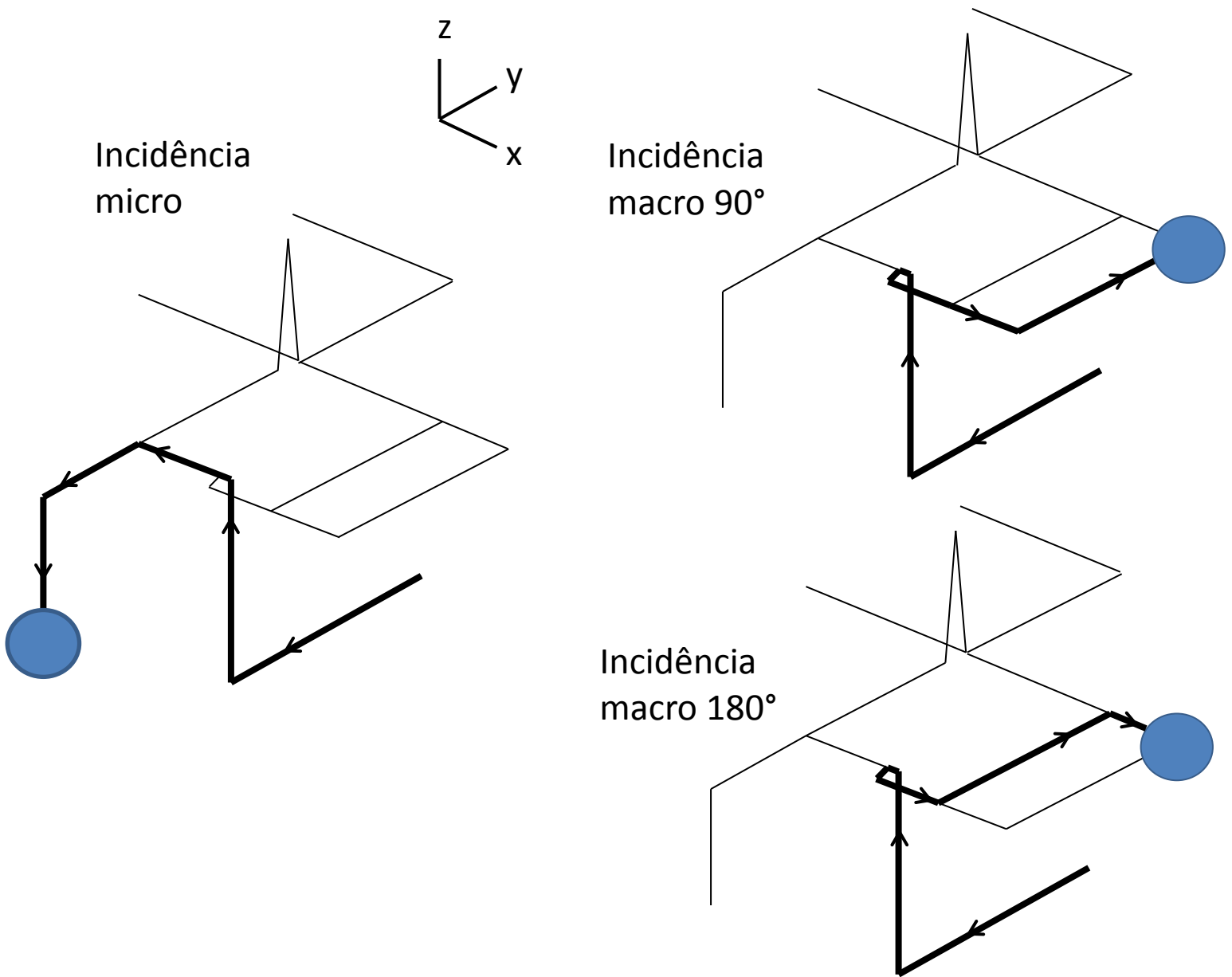


Figura 1.3. Caminho do feixe para as 3 possibilidades de incidência.

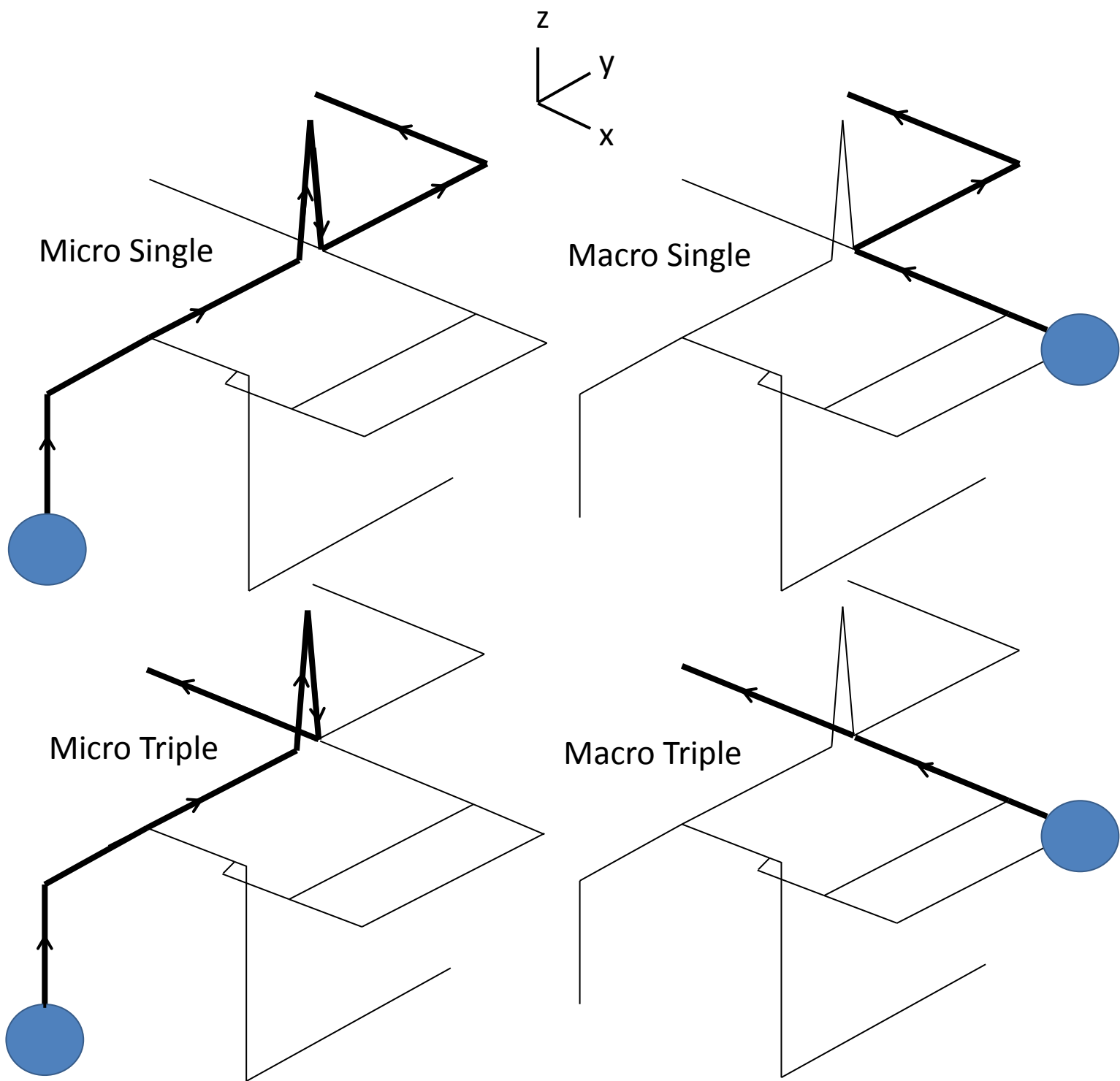


Figura 1.4. Caminho do feixe para as 4 possibilidades de análise do feixe espalhado.

Dado o caminho de cada feixe, ele não será mais explicitado com setas nas demais figuras, para diminuir a poluição visual. Caso não esteja claro nas figuras futuras qual o caminho do feixe, voltar a consultar as figuras 1.3 e 1.4.

Na seção 2, a resposta das redes de difração e do beam splitter (necessário somente para medidas micro) a diferentes polarizações é apresentada. Na seção 3, a presença da lâmina de meia onda na entrada do equipamento é discutida, pois seu uso pode ser fundamental para melhorar o sinal dependendo da configuração e comprimento de onda utilizado (devido justamente às diferentes respostas dos componentes ópticos apresentados na seção 2). Na seção 4, finalmente serão discutidas medidas de polarização.

2 Resposta das Redes e do beam splitter a diferentes polarizações

A eficiência das redes de difração do equipamento é altamente dependente da polarização da radiação e seu comprimento de onda, como mostra a Figura 2.1. Nas medidas feitas em triple isso é fundamental, pois como o feixe incidente passará por três redes, o efeito da resposta observado será cúbico. Ou seja, se o feixe não for orientado de forma conveniente, muito sinal será perdido, sendo possível até mesmo não se observar sinal algum. A estratégia será adotar a orientação em que o **feixe espalhado polarizado (paralelo)** tenha a **melhor resposta** possível.

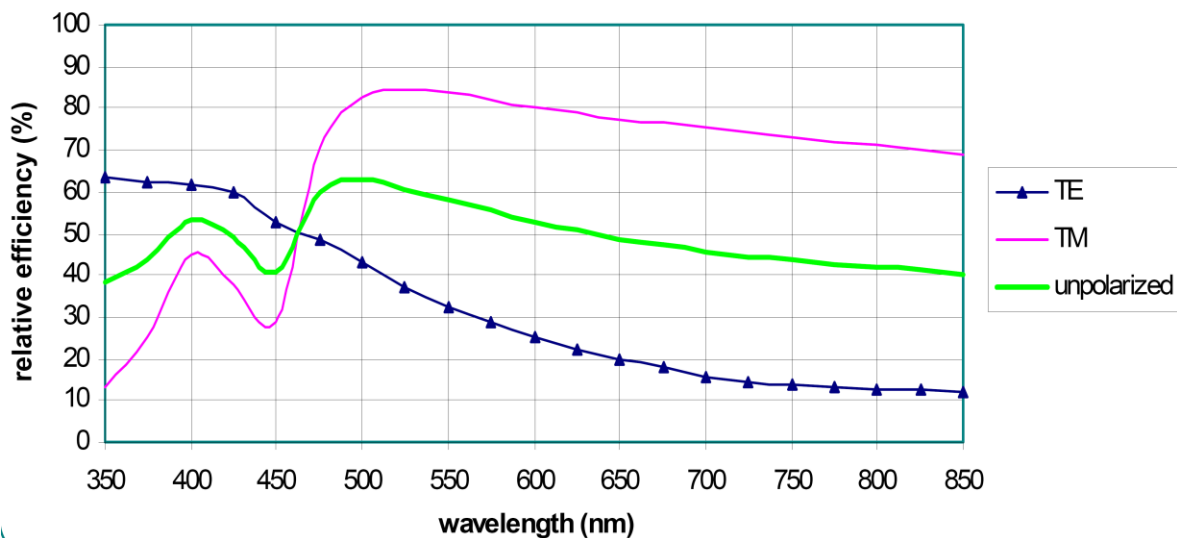


Figura 2.1. Eficiência relativa das redes do equipamento para radiação em diferentes polarizações e despolarizada. TE equivale à radiação polarizada em y e TM à radiação polarizada em z no sistema de coordenadas adotado nas figuras do tutorial.

A maioria das linhas utilizadas ($\lambda > 460$ nm) tem melhor resposta para TM (o que equivale a radiação polarizada em z nas figuras do tutorial). Por esse motivo, sempre adotaremos estratégias para orientar o feixe **espalhado polarizado** em z. Caso o usuário faça uso das linhas no UV, utilizar exatamente a estratégia inversa da apresentada nas seções futuras (pois o feixe deverá estar orientado em TE, o que equivale à polarização em y no sistema de coordenadas adotado nas figuras deste tutorial).

O beam splitter também apresenta respostas diferentes à polarização da luz que incide sobre ele (a curva segue na figura 2.2, e em arquivo origin, devidamente digitalizada), e é necessário realizar uma correção quando forem feitas medidas de polarização no microscópio (ver Seção 4.2.1).

Nota: Desconsiderar a curva de resposta do beam splitter que se encontra no manual do Jobin Yvon. Aquela curva NÃO é relativa ao nosso beam splitter.

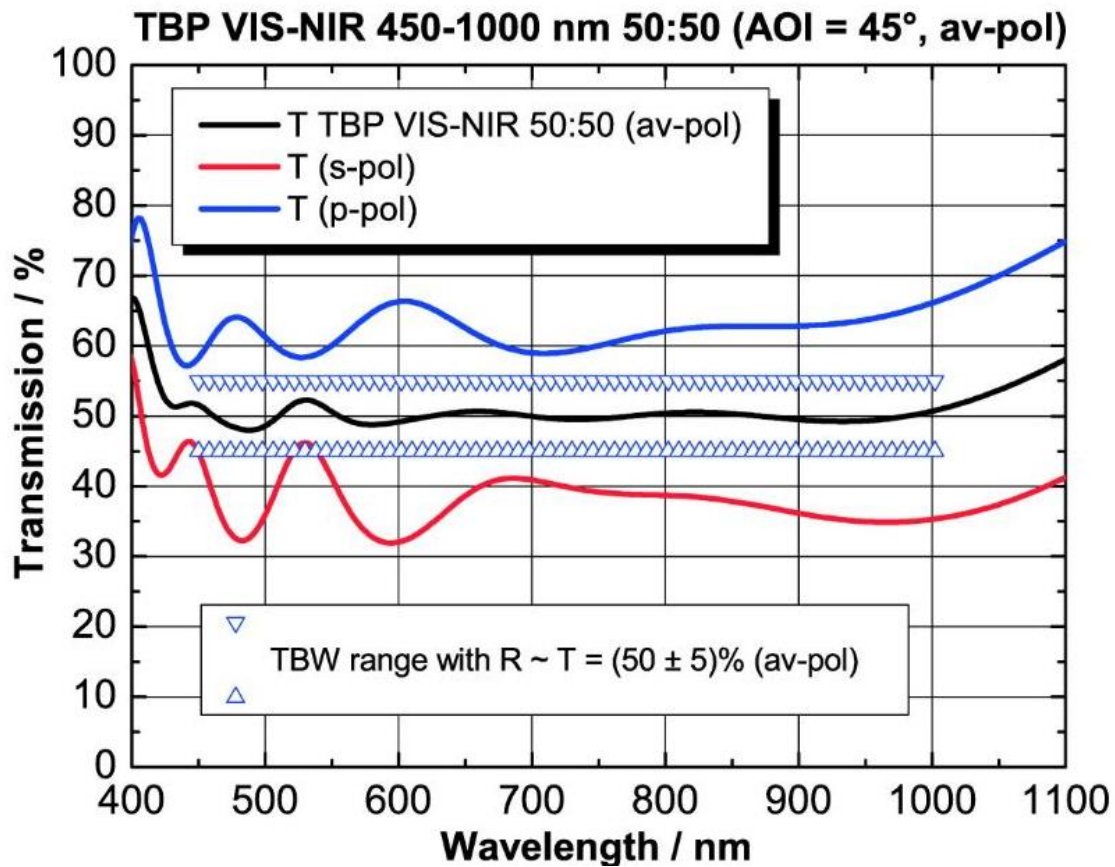


Figura 2.2. Curva de resposta do beam splitter com radiação em diferentes polarizações e despolarizada. p-pol é relativa à polarização paralela ao plano de incidência, e s-pol é relativa à radiação polarizada perpendicularmente ao plano de incidência (para visualizar o plano de incidência, ver figura 3.2.2).

Valores de Transmissão e Reflexão da radiação polarizada paralelamente ou perpendicularmente ao plano de incidência do beam splitter para principais linhas laser.

	Ts (%)	Tp (%)	Rs (%)	Rp (%)
457 nm	40,9	60,2	59,1	39,8
488 nm	32,7	63,2	67,3	36,8
514 nm	42,4	59,0	57,6	41,0
647 nm	38,0	62,8	62,0	37,2

Nota: Embora a tabela mostre os valores para as linhas laser, a correção deve ser feita para o comprimento de onda da radiação espalhada!

3 Considerações sobre a lâmina de meia onda na entrada do equipamento.

Todos os lasers do equipamento fornecem um feixe polarizado em z. É possível alterar essa orientação a partir de uma lâmina de meia onda presente na entrada do equipamento. Uma vez que o feixe polarizado interage com a matéria, o espalhamento pode ocorrer mantendo ou não a polarização da radiação incidente. Assim, a radiação espalhada pode ser dividida em dois componentes, aquele que manteve a polarização original (polarizado) e a componente perpendicular a essa (depolarizado). A medida de polarização consiste em obter cada uma dessas componentes **separadamente**. O modo de separação e análise será discutido na seção 4.

Nota: esse tutorial SEMPRE irá representar o feixe incidente em preto, o feixe espalhado polarizado em vermelho e o feixe espalhado depolarizado em azul.

Embora não seja tratado nesse tutorial como fazer medidas de polarização a partir da alteração da polarização na incidência (utilizando uma lâmina de meia onda na entrada do equipamento), ainda assim é importante discutí-la porque isso alterará a orientação dos componentes polarizado e depolarizado no feixe espalhado. Isso pode parecer, e é, óbvio, mas traz implicações importantes tanto na macro quanto no micro.

A posição correta da lâmina de meia onda na entrada do equipamento deve ser obtida otimizando-se o sinal do modo totalmente simétrico do tetracloreto de carbono conforme varia-se levemente sua posição.

3.1 Macro Chamber

A linha superior da figura 3.1 mostra a polarização dos feixes incidente e espalhado para as medidas feitas em MACRO90° (single e triple) sem ou com a lâmina de meia onda na entrada do equipamento. É fundamental notar que sem a lâmina de meia onda na entrada, o feixe espalhado não contém componente polarizada, pois a radiação é coletada na direção x, e essa é a própria direção de polarização da componente polarizada (vermelho). Como o feixe não se propaga na direção em que está polarizado, essa componente **não é observada**.

Portanto para MACRO 90° a lâmina de meia onda na entrada do equipamento é IMPRESCINDÍVEL!

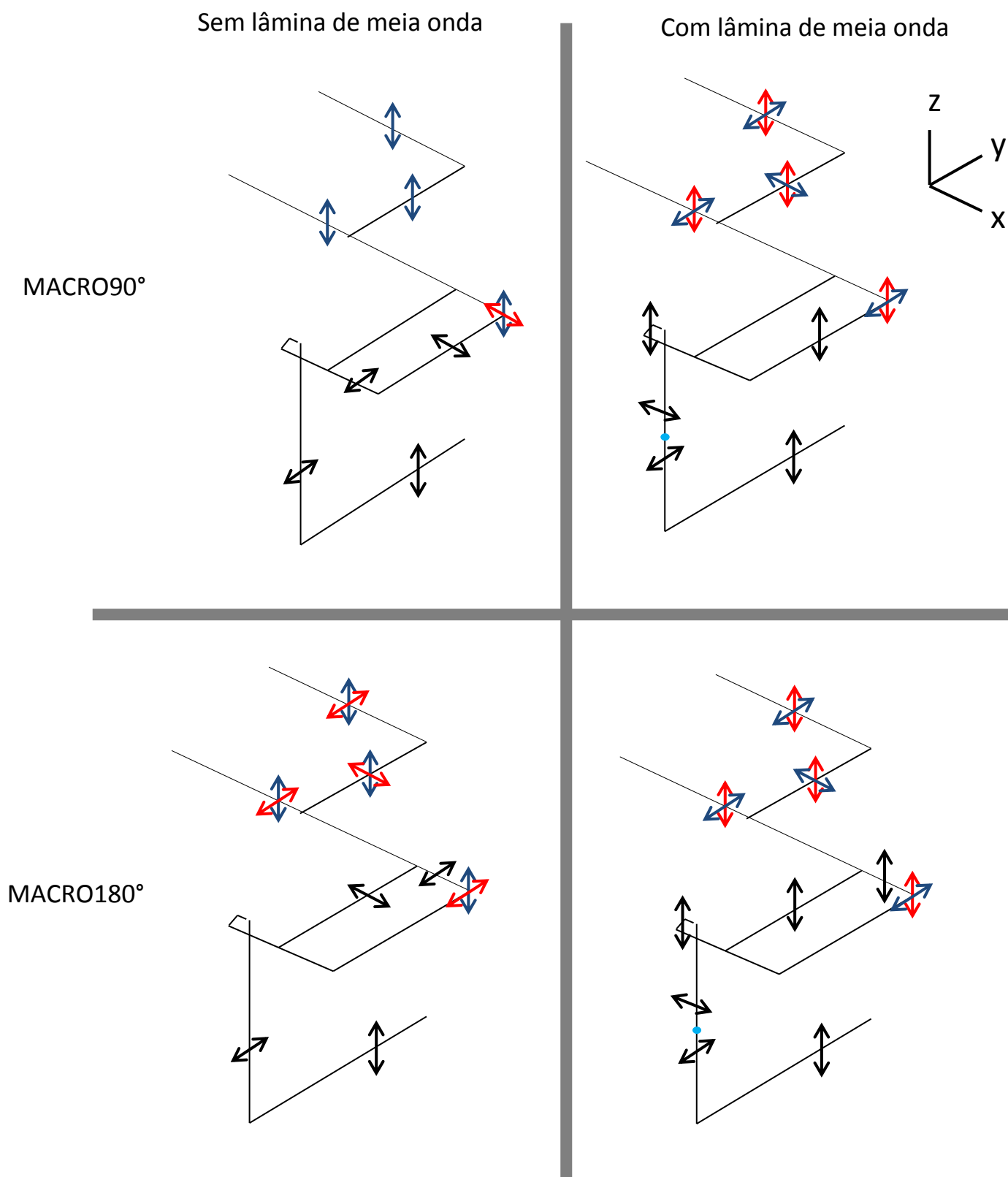


Figura 3.1. Polarização da radiação incidente (preto), e da radiação polarizada (vermelho) e depolarizada (azul) para medidas na macro chamber. Esquerda: sem lâmina de meia onda na entrada do equipamento. Direita: com lâmina de meia onda na entrada do equipamento. Linha superior: macro 90°; linha inferior: macro 180°.

O mesmo não ocorre para MACRO180° (ver Figura 3.1, linha inferior), mas ainda assim o uso da lâmina de meia onda é essencial devido à resposta das redes de difração do equipamento, que é superior para feixes polarizados em z (Seção 2 e figura 2.1). Ou seja, com a lâmina de meia onda, o feixe polarizado estará orientado em z, o que garantirá obter sua resposta otimizada, mas a custo de uma pior resposta da componente depolarizada. Como essa resposta será muito diferente para cada componente, na configuração triple é possível supor que APENAS o sinal polarizado será obtido. Se for desejável corrigir esse efeito pode-se fazer uso de um scrambler, que despolarizará a radiação espalhada, garantido que as duas componentes tenham mesma resposta do equipamento.

Sem a lâmina de meia onda, o feixe polarizado estará orientado em y, e a resposta das redes de difração a essa orientação é inferior, mas pode-se novamente fazer uso de um scrambler e assim utilizar MACRO 180° sem a lâmina de meia onda na entrada do equipamento.

Desse modo, para MACRO 180° o uso da lâmina de meia onda é OPCIONAL, mas caso ela não seja usada, é ESSENCIAL fazer uso de um scrambler.

3.2 Micro

No caso de medidas realizadas com o microscópio, as possibilidades de orientação do feixe incidente com e sem lâmina de meia onda, e a respectiva orientação do feixe espalhado polarizado e depolarizado, encontram-se na Figura 3.2.1. Notar que em micro a orientação do feixe polarizado e depolarizado para o triple e single é sempre inversa entre si. Ou seja, se o feixe polarizado está orientado em z para a configuração triple, o depolarizado terá essa orientação em single, e vice versa. Por esse motivo que uma segunda lâmina de meia onda pode ser necessária em medidas micro (ver seção 3.3).

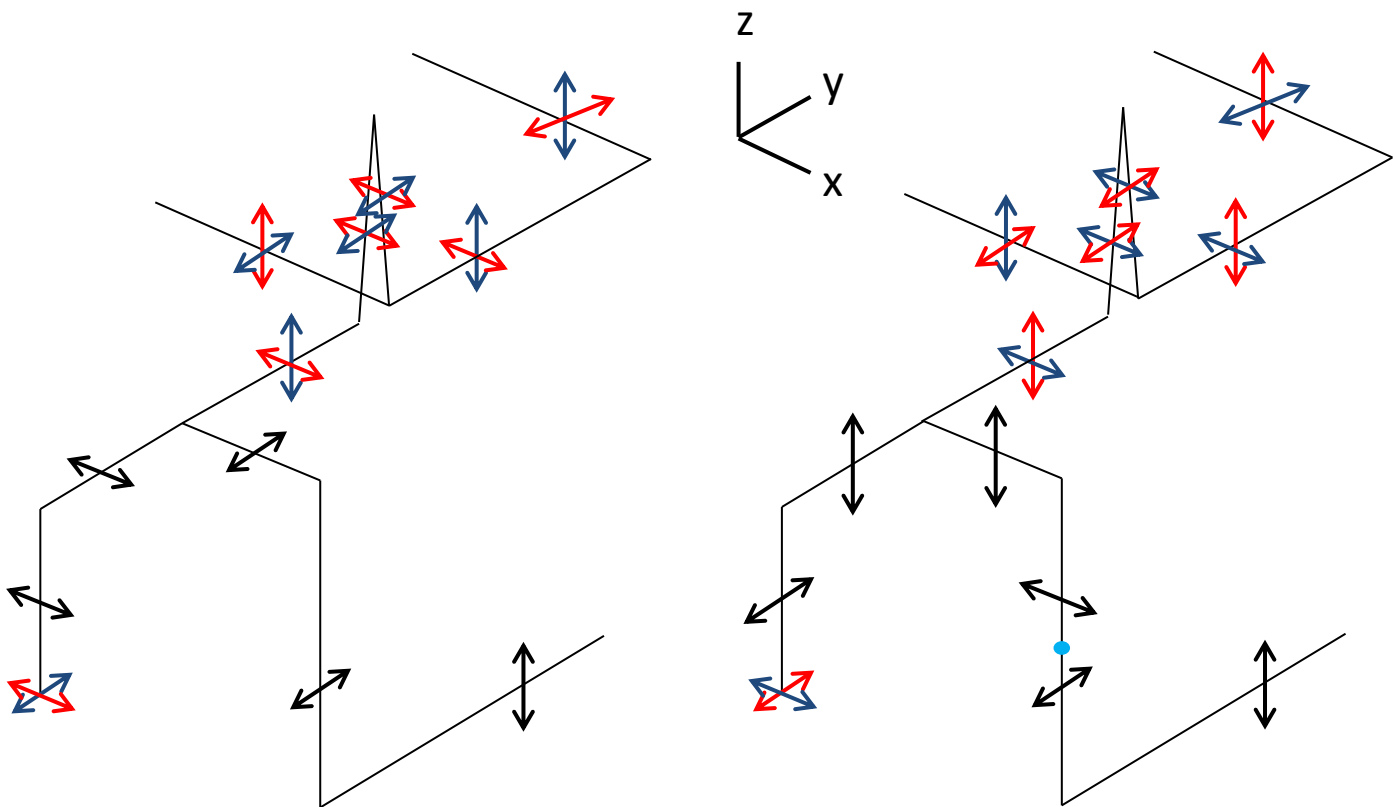


Figura 3.2.1. Polarização da radiação incidente (preto), e da radiação polarizada (vermelho) e depolarizada (azul) para medidas com o microscópio. Esquerda: sem lâmina de meia onda na entrada do equipamento. Direita: com lâmina de meia onda na entrada do equipamento.

A relevância de analisarmos a presença da lâmina de meia onda no micro se torna clara ao se observar a resposta do beam splitter a diferentes polarizações (seção 2). O beam splitter é um componente óptico que transmite parte do feixe que incide sobre ele, e reflete a outra parte. A razão entre feixe transmitido/refletido é altamente dependente de seu comprimento de onda e de sua polarização. Pela curva de resposta do beam splitter (Figura 2.2) é possível notar que independente do comprimento de onda utilizado, a transmissão para o feixe p-polarizado (polarização paralela ao plano de incidência) é sempre superior. O que equivale a dizer que a reflexão do feixe s-polarizado (polarização perpendicular ao plano de incidência) é maior. Como a incidência na amostra depende da quantidade de feixe laser REFLETIDA pelo beam splitter, ao usar a lâmina de meia onda, garante-se que mais radiação laser chegue na amostra (Ver figura 3.2.2).

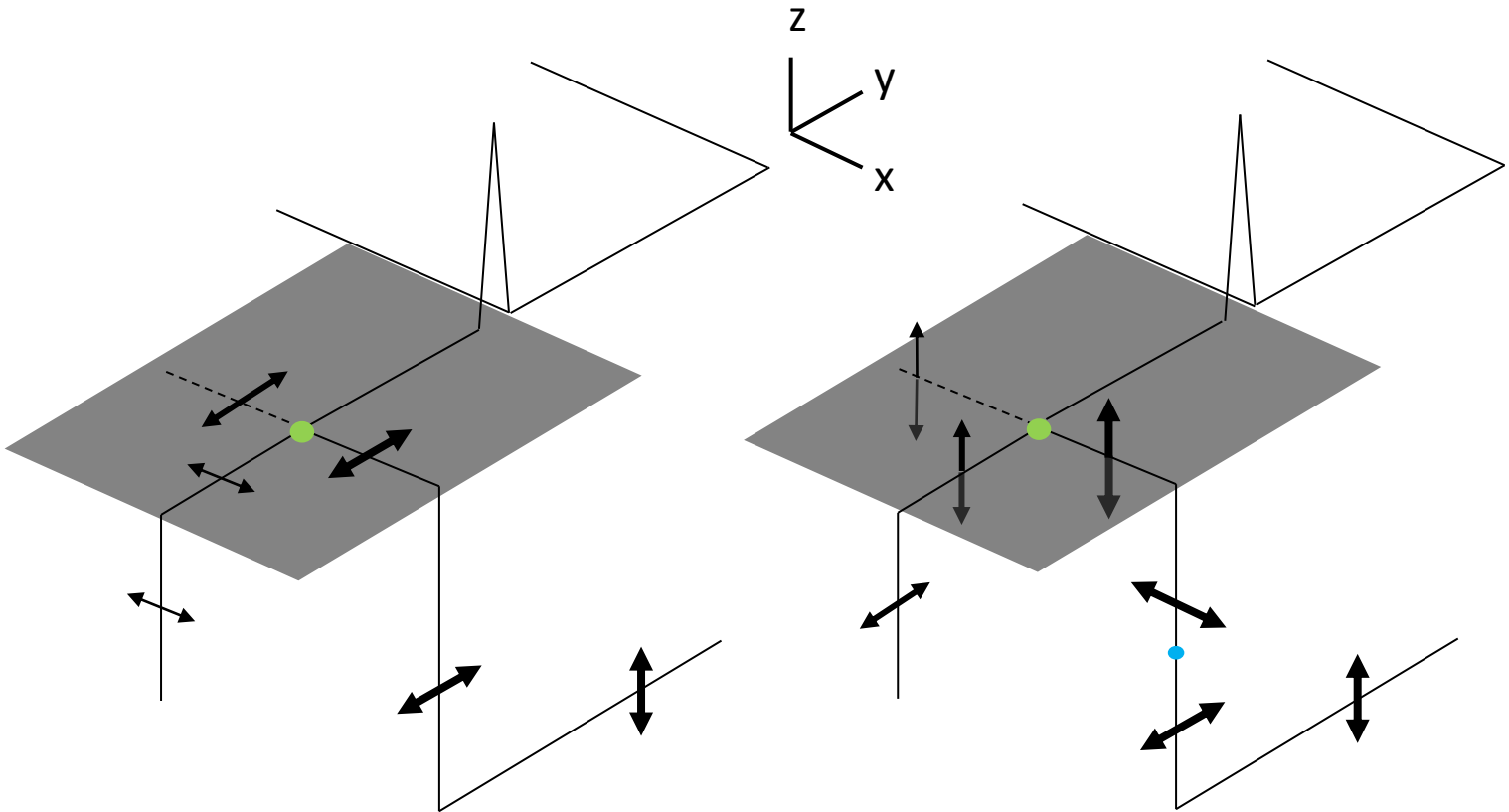


Figura 3.2.2. Polarização e intensidade da radiação incidente após passar pelo beam splitter. Esquerda: sem lâmina de meia onda na entrada do equipamento. Direita: com lâmina de meia onda na entrada do equipamento. O plano de incidência do beam splitter é destacado.

Assim como o feixe incidente, o espalhado também passará pelo beam splitter, mas nesse caso ele deve ser TRANSMITIDO por ele, para chegar ao equipamento. Como o feixe espalhado possui ambas componentes (polarizada e depolarizada), o beam splitter transmitirá com eficiência distinta cada um desses feixes, ver a figura 3.2.3 (Como em medidas de polarização uma análise **quantitativa** da intensidade de cada um desses componentes é feita, É IMPERATIVO REALIZAR UMA CORREÇÃO para recuperar o valor real da relação de intensidade entre componente polarizada e depolarizada).

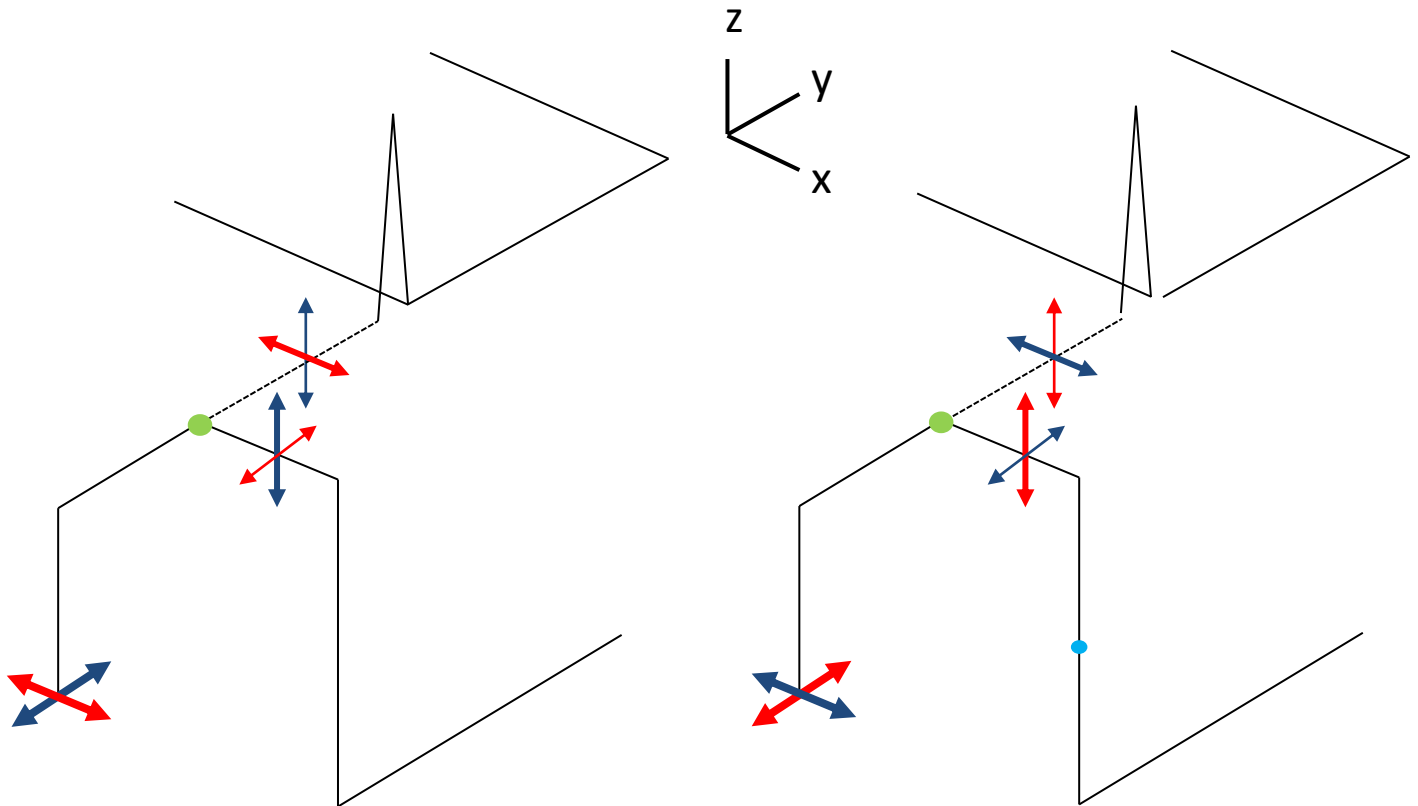


Figura 3.2.3. Polarização e intensidade das componentes polarizada (vermelho) e depolarizada (azul) da radiação espalhada após passar pelo beam splitter. Esquerda: sem lâmina de meia onda na entrada do equipamento. Direita: com lâmina de meia onda na entrada do equipamento.

É importante notar também que se a lâmina de meia onda for utilizada, com o intuito de garantir que o feixe incidente seja mais refletido pelo beam splitter (e conseqüentemente mais radiação chegue na amostra), isso necessariamente implica que o feixe polarizado a ser analisado terá menor eficiência na sua transmissão. No caso contrário, sem lâmina de meio onda menos luz laser chegará a amostra, mas em compensação mais radiação espalhada polarizada será transmitida e chegará ao equipamento. Qual das duas opções garantirá maior sinal observado dependerá da radiação, amostra, etc, e portanto fica a critério de cada usuário que configuração escolher (com ou sem lâmina de meia onda na entrada do equipamento).

3.3 Segunda lâmina de meia onda para medidas micro

Como explicado na seção 2, devido à diferença na eficiência da rede, sempre priorizamos a incidência da componente polarizada, que como já dito na maioria dos casos ($\lambda > 460 \text{ nm}$), seria a polarização em z. Para garantir a radiação polarizada em z no micro, é possível fazer uso de uma segunda lâmina de meia onda, caso essa não seja a orientação original dessa componente.

Analisando a figura 3.2.1 conclui-se que a segunda lâmina de meia onda é **necessária nos casos:**

- Single, se **não** for feito uso da primeira lâmina de meia onda na entrada do equipamento
- Triple, se for feito uso da primeira lâmina de meia onda na entrada do equipamento.

A segunda lâmina de meia onda é mostrada na Figura 3.3.1 . Ela apresenta um pino que é rosqueável e seis orifícios em que pode ser encaixado (a posição dos orifícios é mostrada como pontos pretos na figura da esquerda). Ao dizer que a lâmina de meia onda deve ser utilizada, isso significa colocá-la na posição mostrada na direita da figura 3.3.1, ou seja, com o pino na posição 2 e então encostar o pino no limite do apoio no encaixe da lâmina no equipamento.

O SINAL NUNCA DEVE SER OTIMIZADO VARIANDO-SE O ÂNGULO DESSA LÂMINA DE MEIA ONDA; ELA DEVE SER UTILIZADA NA POSIÇÃO ESCRITA OU SER RETIRADA (no caso de medidas de polarização há duas posições possíveis para ela).

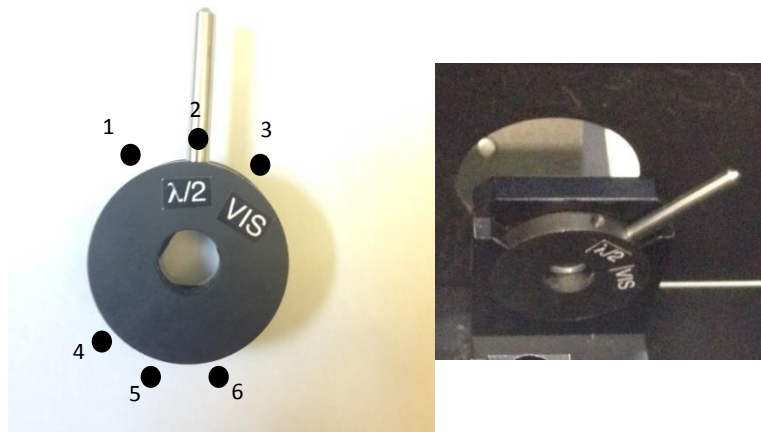


Figura 3.3.1. Foto da segunda lâmina de meia onda utilizada em algumas conformações no micro. O pino deve estar parafusado no buraco 2 e encostado na extrema direita ou esquerda do suporte que a contém.

4 Medidas de polarização

O porquê de se realizar uma medida de polarização, suas aplicações, o cálculo do valor de fator de despolarização para diferentes modos e geometrias não será discutido aqui. Para mais informações consultar, por exemplo, O. Sala “*Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho*” ou D. A. Long “*The Raman Effect*”, entre outros. Nesse tutorial só será explicitado **como** obter medidas de polarização em um equipamento específico do LEM, o Jobin Yvon T64000, em suas diferentes configurações.

Medidas de polarização podem ser obtidas por dois métodos diferentes: 1. é feita a alteração da polarização do feixe incidente, 2. é feita a seleção via polaróide analisador dos componentes do feixe espalhado, mantendo apenas uma polarização na incidência. Só será considerado aqui o segundo caso. Desse modo, a medida de polarização consiste em obter o feixe espalhado em duas medidas:

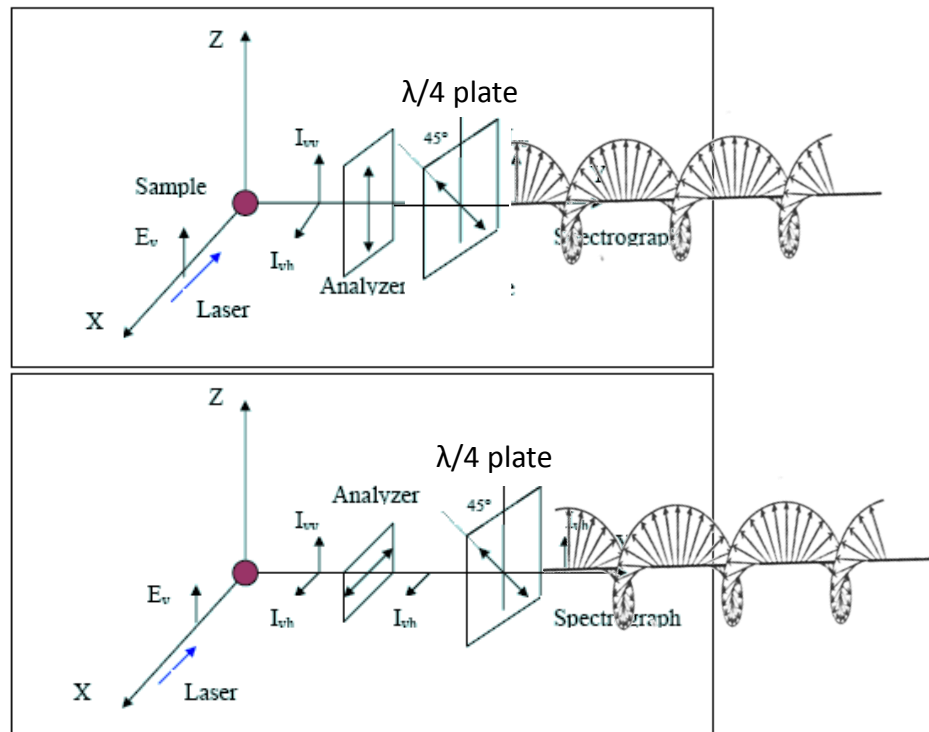
- 1- Componente com polarização paralela à incidente (ou feixe espalhado polarizado);
- 2- Componente com polarização perpendicular à incidente (ou feixe espalhado depolarizado).

Medidas de polarização envolvem uma análise **quantitativa** das intensidades dos dois componentes do feixe espalhado. Por esse motivo é preciso garantir que não haja uma falsa intensificação de um dos componentes devido à resposta dos elementos ópticos do espectrômetro. No caso das redes de difração, há dois modos de realizar essa correção:

- I. Na macro chamber: Após selecionar apenas um componente (paralelo ou perpendicular) com um polaróide analisador, fazer a depolarização do feixe com um *scrambler* (lâmina de um quarto de onda).
- II. No microscópio: Após selecionar apenas um componente (paralelo ou perpendicular) com um polaróide analisador, garantir que a entrada no equipamento nos dois casos seja feita com a **mesma** polarização a partir de uma lâmina de meia onda.

A figura 4.1. ilustra as possibilidades discutidas em I e II. A estratégia I é adotada para a Macro chamber, enquanto a estratégia II é utilizada no microscópio. Notar que em I, o ângulo do *scrambler* permanece o mesmo para ambas as análises, mas na estratégia II, utilizando a lâmina de meia onda, esta deve ter seu ângulo alterado para cada medida.

Estratégia I



Estratégia II

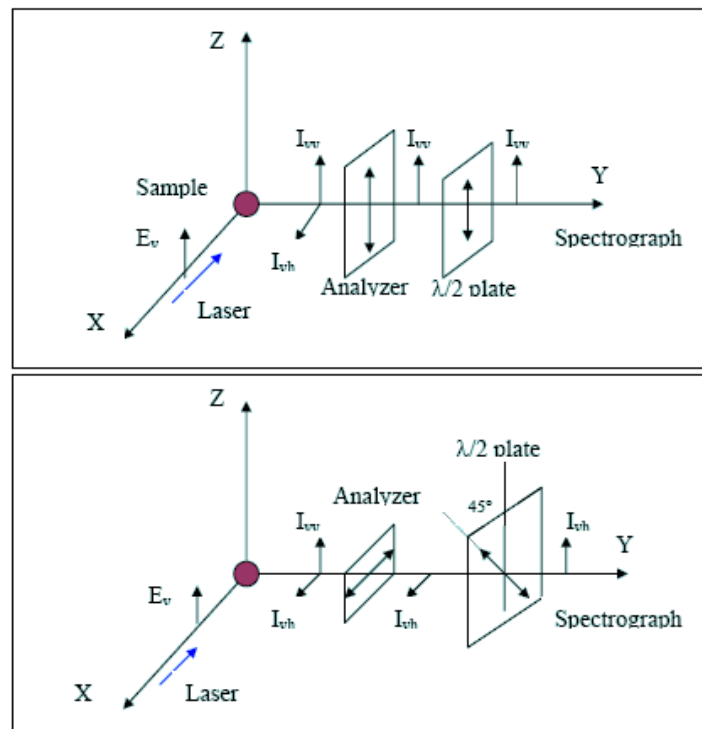


Figura 4.1. Esquema retratando as duas estratégias utilizadas para obter medidas de polarização no JY T64000.

4.1 Macro Chamber

Para realizar medidas de polarização na Macro Chamber (90 ou 180°), é usada a estratégia I apresentada na seção anterior. Ou seja, um polaróide analisador é usado para selecionar a componente de polarização paralela ou perpendicular à da radiação incidente, e o feixe assim selecionado passa por um scrambler para despolarizar a radiação para seguir à análise. Com isso o resultado final é mostrado esquematicamente na figura 4.1.

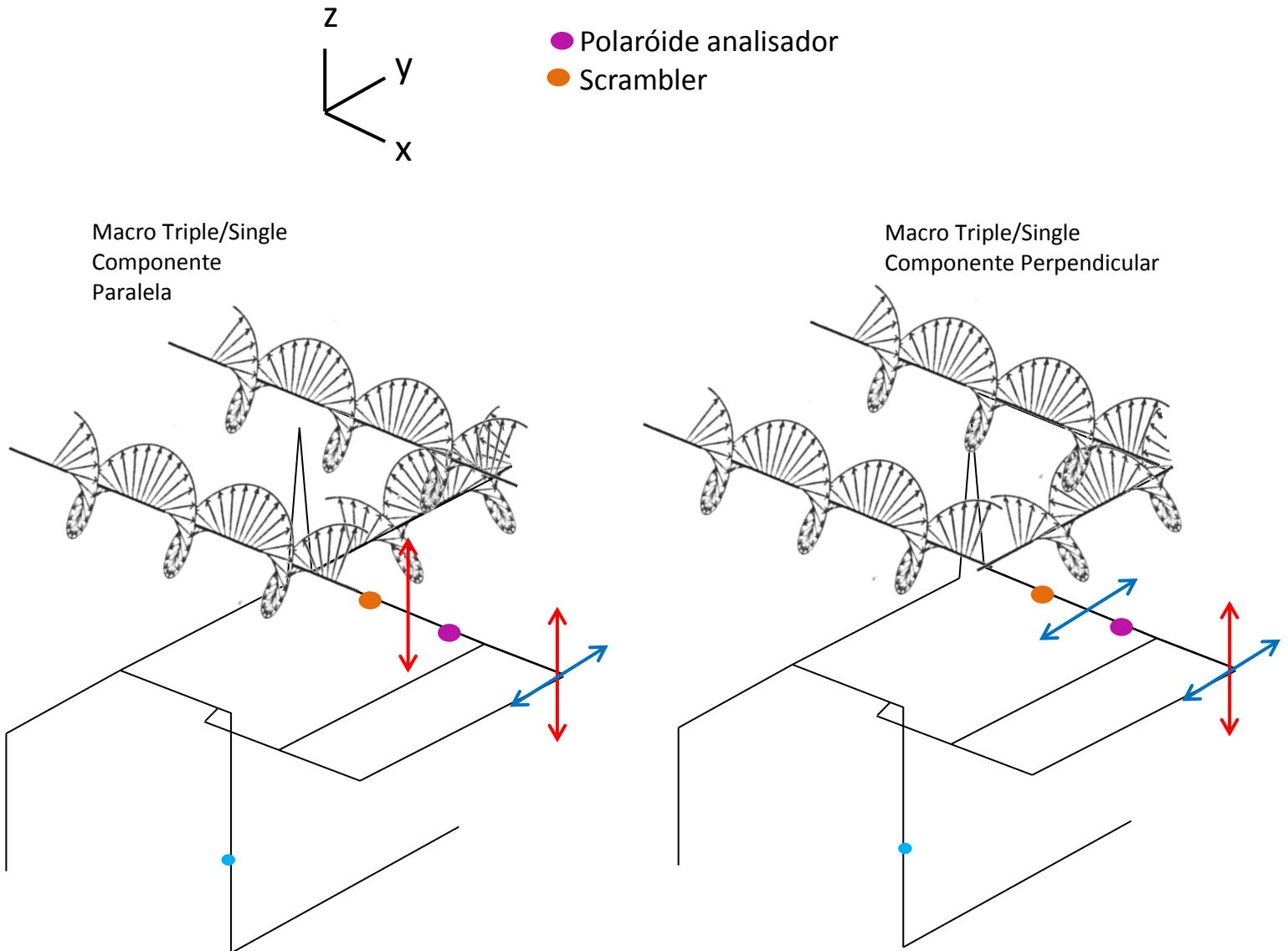






Figura 4.1. Esquema indicando como realizar medidas de polarização na macro chamber.





4.2 Micro

Para medidas de polarização utilizando o microscópio, é utilizada a estratégia II apresentada no início da seção.

1. um polaróide analisador é usado para selecionar a radiação polarizada horizontalmente ou verticalmente

	<p>polaróide analisador selecionando a radiação com polarização na vertical (z)</p>	
	<p>polaróide analisador selecionando a radiação com polarização na horizontal (x)</p>	

2. Após selecionar uma das componentes, ela pode seguir para o equipamento mantendo a orientação original ou ser girada 90° com a lâmina de meia onda.

<p>Posição a</p> 	<p>Lâmina de meia onda com eixo óptico a 0°: não altera a orientação. (Pino na posição 4 descrita na figura 3.3.1)</p>	
<p>Posição b</p> 	<p>Lâmina de meia onda com eixo óptico a 45°: Gira em 90° a polarização da radiação incidente. (Pino na posição 2 descrita na Figura 3.3.1)</p>	

Se a componente polarizada estará na vertical (ou horizontal) depende da presença (ou não) da lâmina de meia onda na entrada do equipamento (ver fig 3.2.1). Já a necessidade de usar a segunda lâmina de meia onda na posição a ou b mostrada acima dependerá da radiação selecionada e do modo de análise, single ou triple. Todas as possibilidades possíveis encontram-se nos esquemas que seguem (Figuras 4.2.1 a 4.2.4).

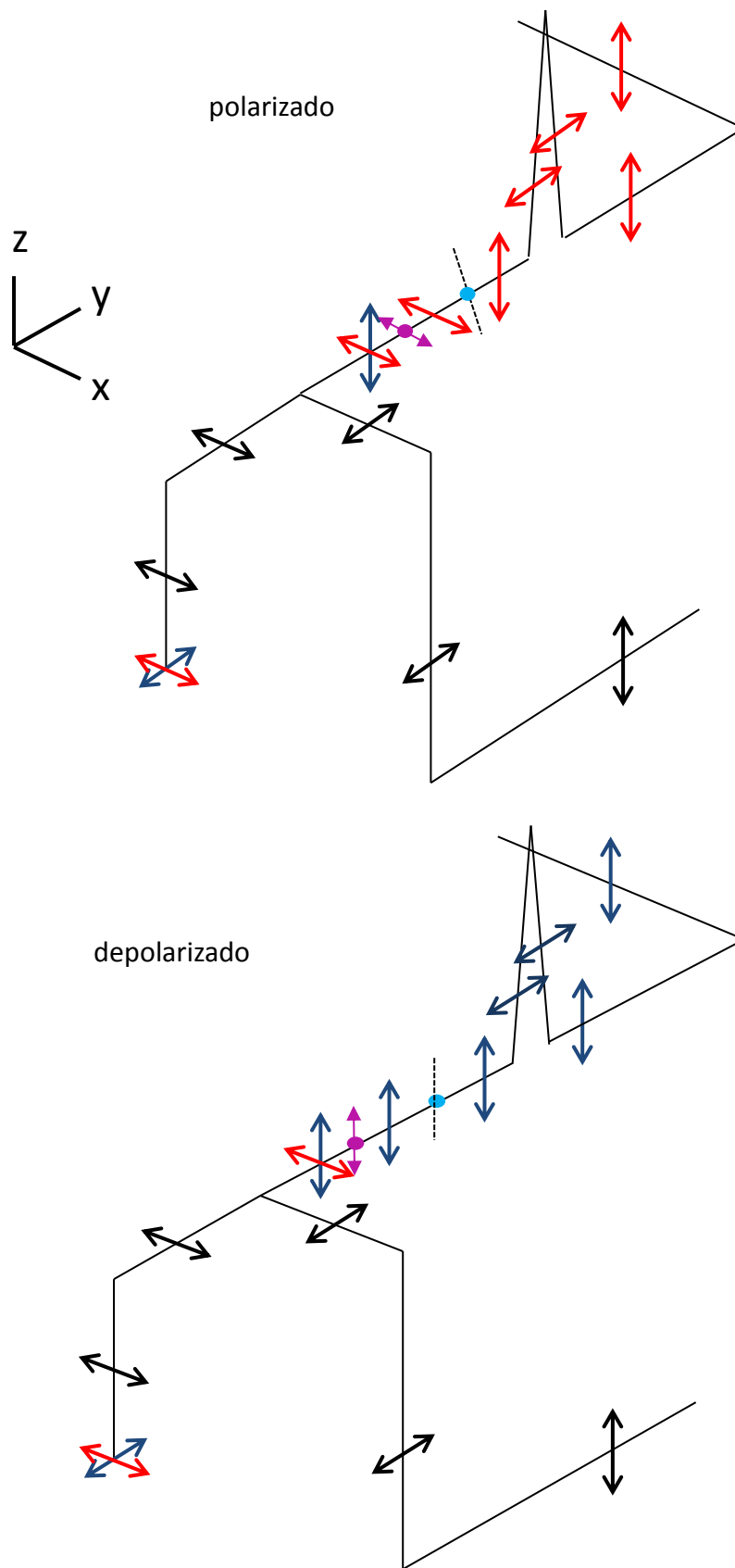


Figura 4.2.1. Micro Single, sem lâmina de meia onda na entrada.

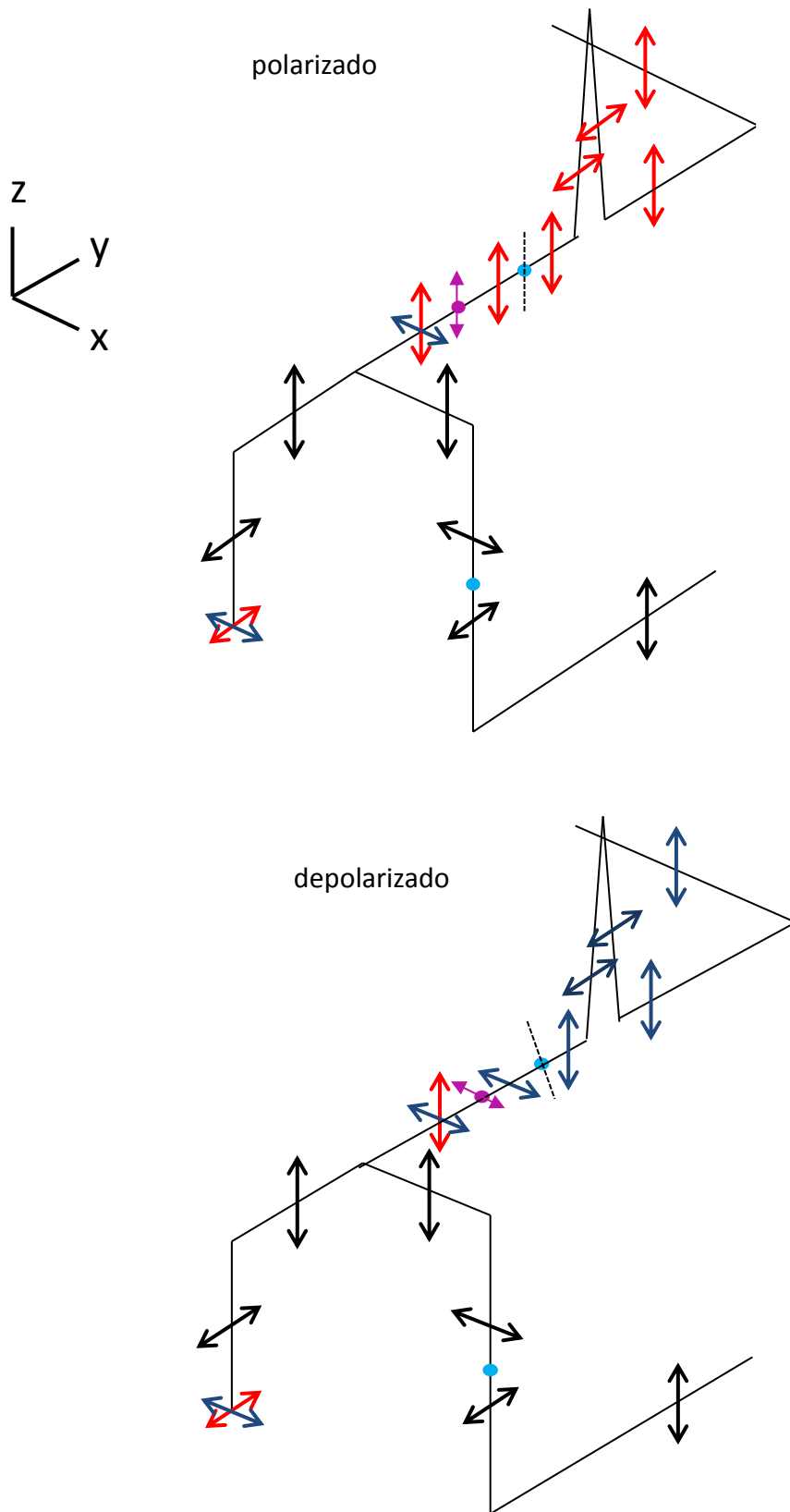


Figura 4.2.2. Micro Single, com lâmina de meia onda na entrada.

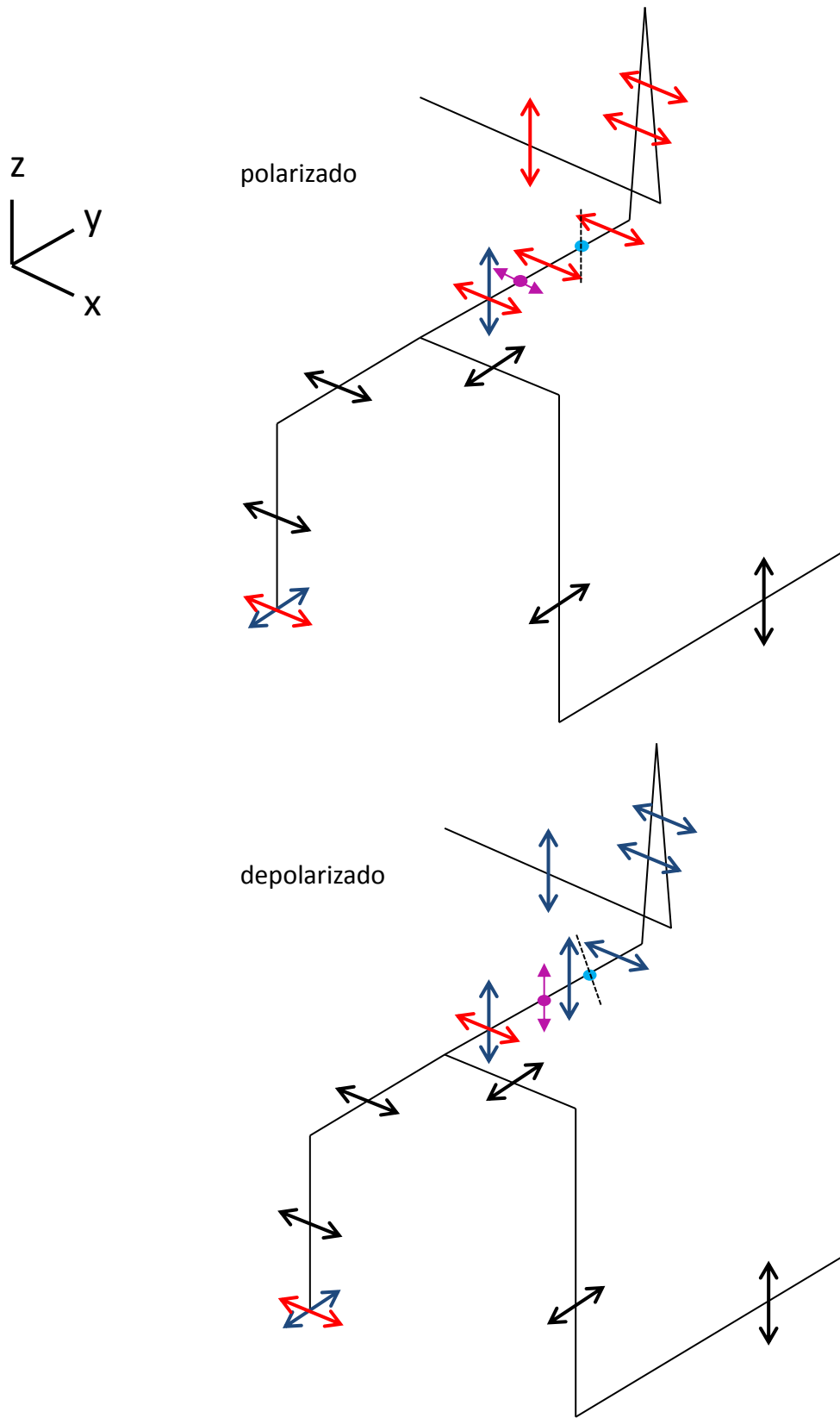


Figura 4.2.3. Micro Triple, sem lâmina de meia onda na entrada.

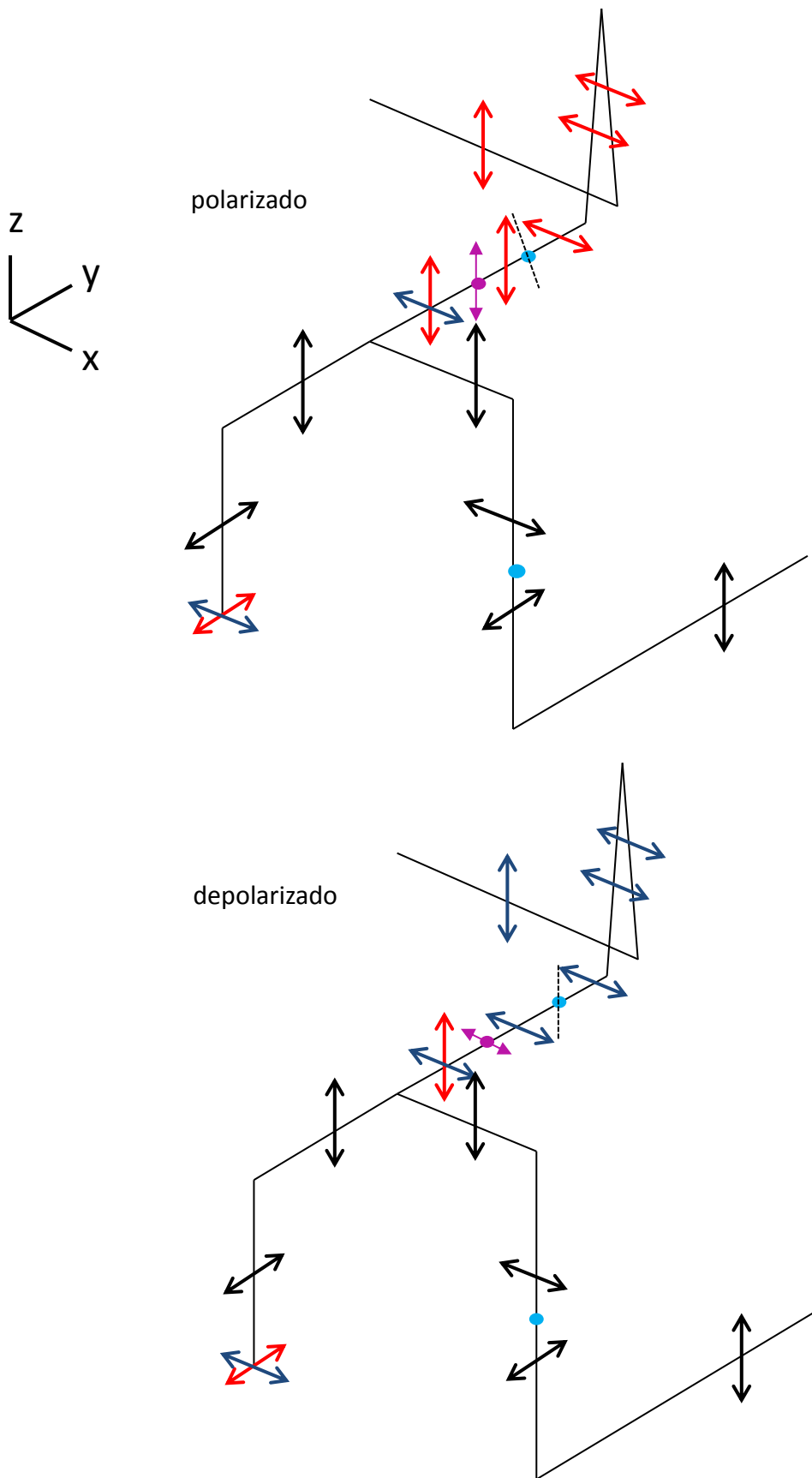


Figura 4.2.4. Micro Triple, com lâmina de meia onda na entrada.

4.2.1 Correção da resposta do beam splitter

É fundamental, além de fazer as medidas como indicado na seção anterior, realizar também a correção no valor de intensidade dado pelo beam splitter, usando a curva da seção 2, já que (como discutido na seção 3.2) as componentes polarizada e depolarizada serão transmitidas com eficiência distinta pelo beam splitter.

No exemplo a seguir mostramos o exemplo de uma medida feita com tetracloreto de carbono no micro Triple com lâmina de meia onda na entrada. Nessa configuração o espectro polarizado possui a orientação relativa a s-pol da Figura 2.2 (polarizado perpendicularmente ao plano de incidência) e o depolarizado possui a orientação p-pol (polarizado paralelo ao plano de incidência), ver Figuras 3.2.2 e 4.2.4. Assim, o feixe depolarizado será transmitido com eficiência superior ao polarizado (ver Figura 3.2.3).

O resultado experimental obtido pode ser visto na parte superior da Figura 4.2.1.1. O feixe depolarizado possui intensidade superior ao polarizado, sendo o fator de depolarização maior que 1, o que é completamente irreal. Para realizar a correção nessa falsa intensidade obtida dividiu-se o espectro polarizado por 0,394 e o depolarizado por 0,62 (esses são os valores de transmissão para os feixes s-pol e p-pol, respectivamente, mostrados na figura 2.2 para a região de 658 nm).

O espectro assim corrigido tem fator de depolarização de 0,80, que embora não seja idêntico ao valor teórico de 0,75 já apresenta melhor concordância. Uma possível fonte de erro é a lâmina de meia onda, que provavelmente não é otimizada para essa faixa espectral.

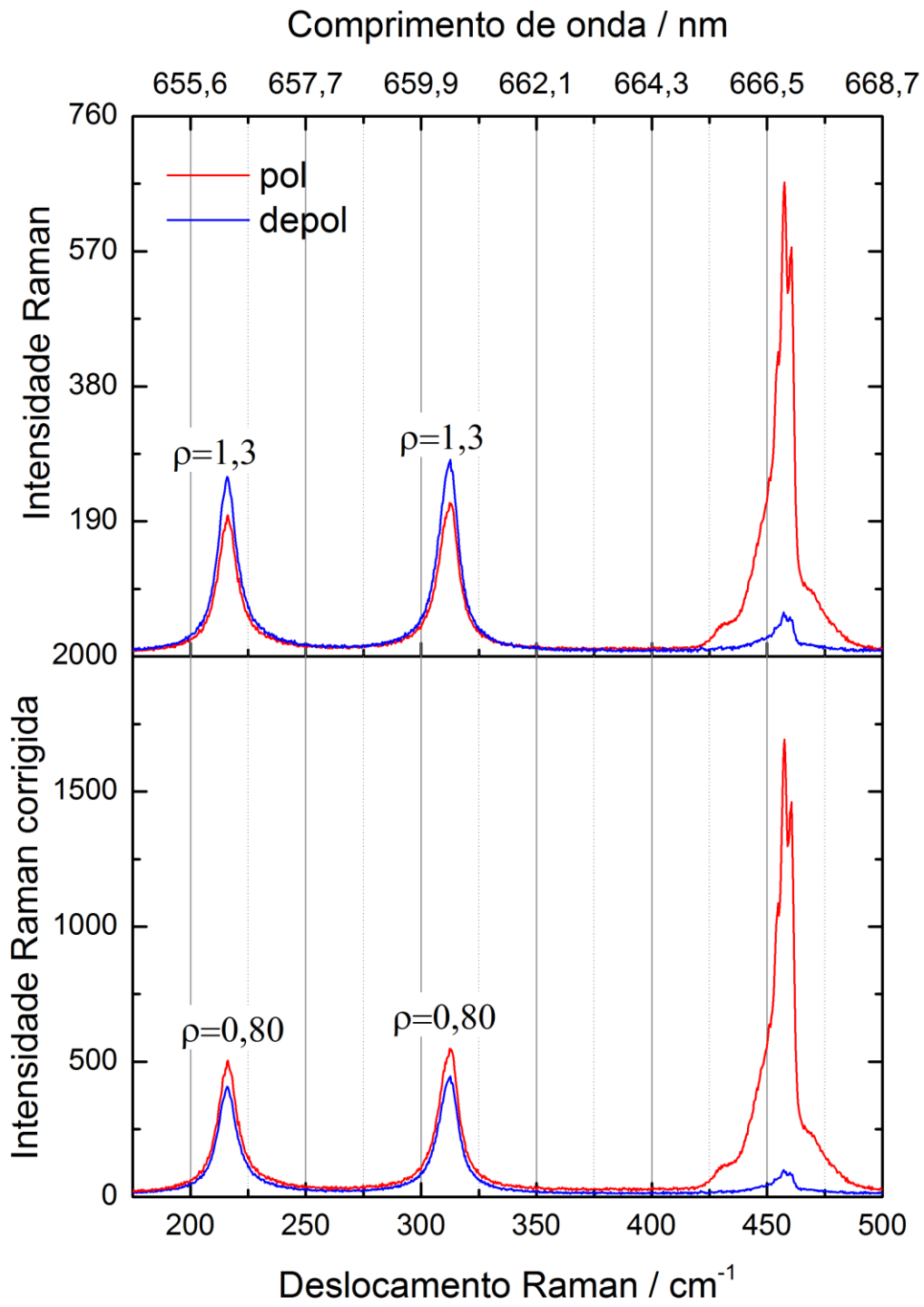


Figura 4.2.1.1. Espectro Raman do tetracloreto de carbono.