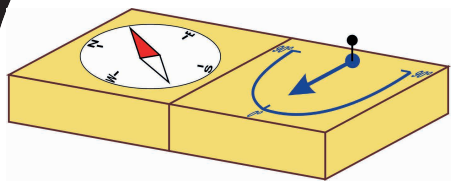
**T**odas as Ciências são estruturadas e evoluem essencialmente em torno de conceitos que, pela sua simplicidade, parecem óbvios. No entanto, frequentemente temos verificado que existe alguma confusão sobre estes conceitos. Com efeito, por parecerem tão óbvios, muitas vezes acabam por ser explicados de uma forma mais superficial, o que lhes retira a clareza.
Além disso, o que parecia óbvio, muitas vezes vai revelando uma complexidade não prevista; quantas vezes depois da explicação de um conceito tantas vezes repetido, uma dúvida de um aluno, ou até a utilização de uma frase ligeiramente diferente revela uma maior riqueza dos conceitos ligados às Ciências da Terra...

**Conversas em torno da Terra** é uma coleção de textos sobre os processos naturais que ocorrem no nosso planeta; escritos ao sabor das circunstâncias pretendem abordar o que... é óbvio... Embora tenhamos já planeado uma série de temas das próximas conversas estamos disponíveis para, na medida do possível, abordar temas que nos venham a ser sugeridos.
Apesar da sua simplicidade, estes pequenos textos talvez possam vir a ajudar a compreender melhor a maravilhosa diversidade da Natureza, contribuindo para desfazer alguns mal-entendidos e até erros que por vezes surgem em alguns manuais escolares.

Se pretender outro material didático, visite a página do Centro Ciência Viva de Estremoz em: www.ccvestremoz.com/ccvestremoz-recursos

*Centro Ciência Viva de Estremoz*
Novembro de 2016

# 4.1 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



**Q**uando olhamos para um afloramento de rochas sedimentares normalmente a superfície de estratificação é o elemento mais evidente. Esta superfície, que no estado não deformado é horizontal, quando deformada leva à sua distorção que se traduz normalmente por dobras e falhas. Esta deformação gera novas estruturas planares: planos axiais, flancos de dobras, falhas, clivagens, diaclases, foliações metamórficas e…

Mas, se as superfícies planares são comuns em Geologia, uma observação mais atenta revela a existência frequente de estruturas lineares: marcas de arraste no topo da superfície de estratificação, eixos de dobras ou estrias nos planos de falhas são apenas alguns dos exemplos.

A interpretação das relações geométricas e temporais entre estas estruturas é uma das principais ferramentas para a compreensão da evolução geológica de uma região. Mas para que estas relações possam ser estabelecidas é fundamental que a orientação destas estruturas possa ser estabelecida de uma forma rigorosa.

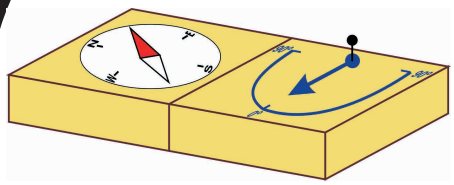
## // ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS

**A** determinação da orientação de planos e linhas implica a existência de um sistema de referência em relação ao qual sejam comparadas as estruturas que se querem caracterizar. A escolha, não só do **sistema de referência** mas também dos parâmetros a serem medidos deve ser feita tendo em consideração não só a simplicidade da sua utilização, mas também a universalidade da forma de determinar a atitude das estruturas. Isto significa que qualquer geólogo em qualquer parte do Mundo posto perante estruturas idênticas do ponto de vista geométrico (quer elas sejam planos ou linhas) deve obter valores idênticos. Só assim será possível a existência de uma linguagem comum que permita a transmissão do conhecimento sobre as estruturas geológicas.

No que diz respeito ao sistema de referência a escolha é óbvia pois o norte magnético e o plano horizontal são facilmente reconhecíveis em qualquer lugar. Para além disso torna-se fácil determinar valores angulares quer com o norte (utilizando uma bússola) quer com o plano horizontal (utilizando um simples transferidor).

Este processo é de aplicação directa na determinação da **orientação de linhas** (fig. 1). Com efeito, consideremos uma linha **L** existente num plano inclinado (fig. 1A). A atitude desta linha fica perfeitamente definida com a determinação de 2 ângulos (**α** e **β**; fig. 1b): o ângulo **α** está relacionado com aquilo que se designa por direcção da linha, enquanto que o **β** está associado ao denominado mergulho da linha. Para a determinação destes ângulos considera-se a existência de um plano vertical que contém a linha (fig. 1B), sendo o ângulo **β** medido directamente nesse plano entre a linha **L** e

# 4.2 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



uma linha horizontal. Quanto ao ângulo **α** ele é medido no plano horizontal entre o norte magnético e a linha horizontal contida no plano vertical referido anteriormente.

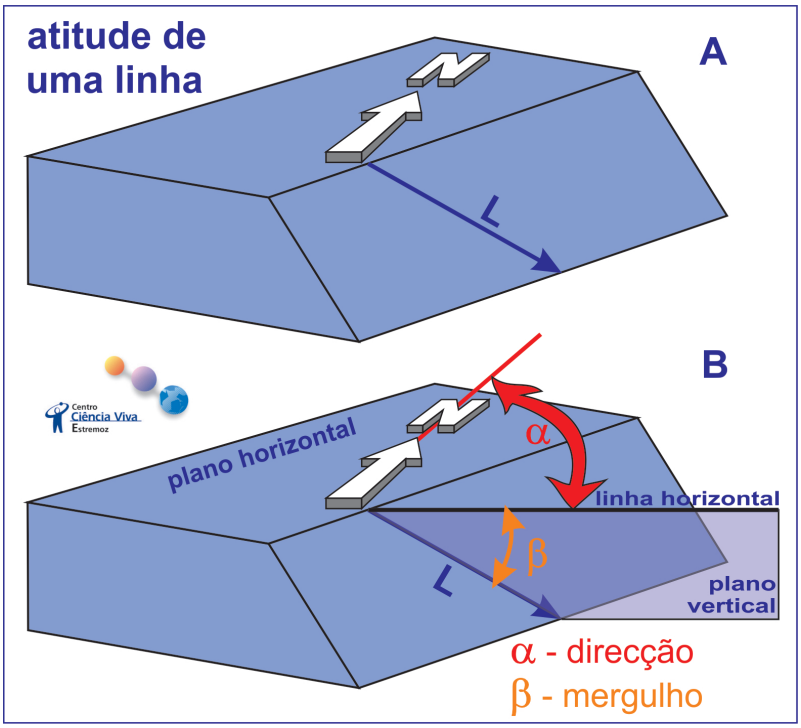
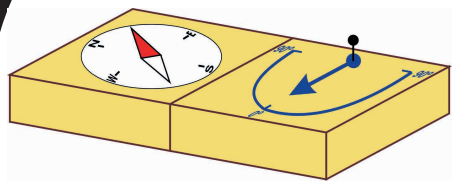



**Fig. 1 -** Determinação da atitude de uma linha.
**A -** Linha **L** contida num plano inclinado.
**B -** Parâmetros utilizados para determinar a atitude de uma linha.

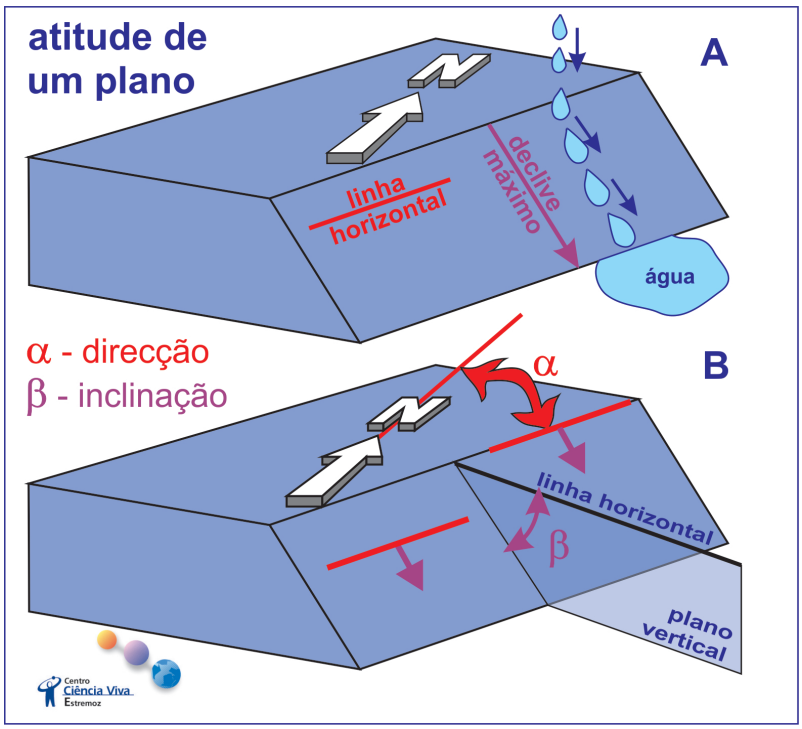
A metodologia anterior é passível de ser aplicada qualquer que seja a atitude das linhas que se querem medir, havendo apenas uma única excepção que ocorre quando as linhas são verticais. Com efeito, para linhas verticais existe uma infinidade de planos verticais que a contêm, pelo que não é possível optar por um em especial para estimar o parâmetro **α**. Esta situação não é problemática pois se a linha é vertical a sua orientação geométrica está completamente definida não sendo necessário a determinação de qualquer parâmetro adicional para a caracterizar.

No que diz respeito à determinação da **atitude de planos** (fig. 2) o processo é ligeiramente diferente pois, na realidade não sabemos medir directamente planos mas sim relações angulares entre linhas. Isto não é um problema pois, do ponto de vista geométrico, duas linhas definem um plano, pelo que basta identificar no plano que se quer determinar 2 linhas das quais se determine a orientação. No entanto, estas linhas têm que ser escolhidas de forma que não existam dúvidas sobre quais as linhas a escolher, pois só assim será possível o entendimento entre geólogos estudando a mesma região ou regiões diferentes. Este não é um processo complicado, pois todos os planos contêm sempre 2 linhas com características particulares que são facilmente identificáveis (fig. 2A). A primeira é a chamada linha de maior declive pois corresponde à maior inclinação que é possível medir nesse plano; a exis-

# 4.3 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



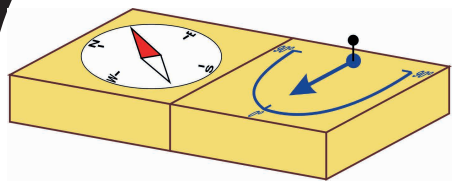
tência desta linha é claramente evidenciada quando se deixa cair água sobre um plano, a qual escorre seguindo precisamente a linha de maior declive desse plano. A segunda linha particular existente no plano corresponde à linha horizontal contida no plano, a qual é perpendicular à linha de maior declive. É agora fácil determinar a atitude do plano utilizando os mesmos parâmetros angulares **α** e **β** utilizados para a atitude das linhas (fig. 2B). A direcção do plano é dada pelo ângulo **α** entre a linha horizontal contida no plano e o N geográfico. A inclinação do plano, que reflecte o seu maior ou menor afastamento em relação ao plano horizontal, é quantificada pelo ângulo **β** o qual é medido utilizando o mesmo procedimento aplicado à determinação do mergulho de uma linha; isto é, materialização de um plano vertical que contém a linha (e que neste caso particular é perpendicular ao plano que se quer medir), sendo o ângulo **β** medido directamente nesse plano entre a linha de maior declive e uma linha horizontal.




O procedimento anterior funciona para a determinação da atitude de qualquer plano, havendo uma única excepção que são os planos horizontais. Com efeito, num plano horizontal não existem linhas de maior declive, pois todas as linhas contidas nesse plano são horizontais; logo o ângulo **β** é sempre 0°. Pelo mesmo motivo não é possível seleccionar uma linha horizontal especial para determinar a sua obliquidade em relação ao Norte magnético, pois todas as linhas são horizontais; logo o ângulo **α** é indeterminado. No entanto, esta situação particular não coloca qualquer problema pois se o plano é horizontal, fica completamente definido do ponto de vista geométrico com esta simples indicação não havendo necessidade de determinar mais nenhum parâmetro. Na realidade quando os geólogos querem descrever a atitude de planos geológicos nos quais o ângulo **β** é próximo de zero, limitam-se a dizer que são "*subhorizontais*". O facto de normalmente não se utilizar o termo "*horizontal*" mas sim "*subhorizontal*" traduz apenas o facto de os planos geológicos não terem a homogeneidade dos planos geométricos mas apresentarem sempre irregularidades que se traduzem na existência de alguns graus de variação entre diversos pontos do mesmo plano.

**Fig. 2 -** Determinação da atitude de uma plano.
**A -** Plano inclinado mostrando a existência de uma linha de maior declive.
**B -** Parâmetros utilizados para determinar a atitude de um plano.

# 4.4 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



## // BÚSSOLA DE GEÓLOGO

**T**endo o geólogo necessidade de medir ângulos, tanto em planos horizontais (quando está a medir direcções), como em planos verticais (quando está a medir a inclinação de planos ou o mergulho de linhas) foi necessário desenvolver um instrumento que permitisse de uma forma simples e rápida determinar os dois tipos de ângulos. É neste contexto que é concebida a bússola de geólogo (fig. 3) que na realidade é constituída por dois instrumentos (fig. 3A):

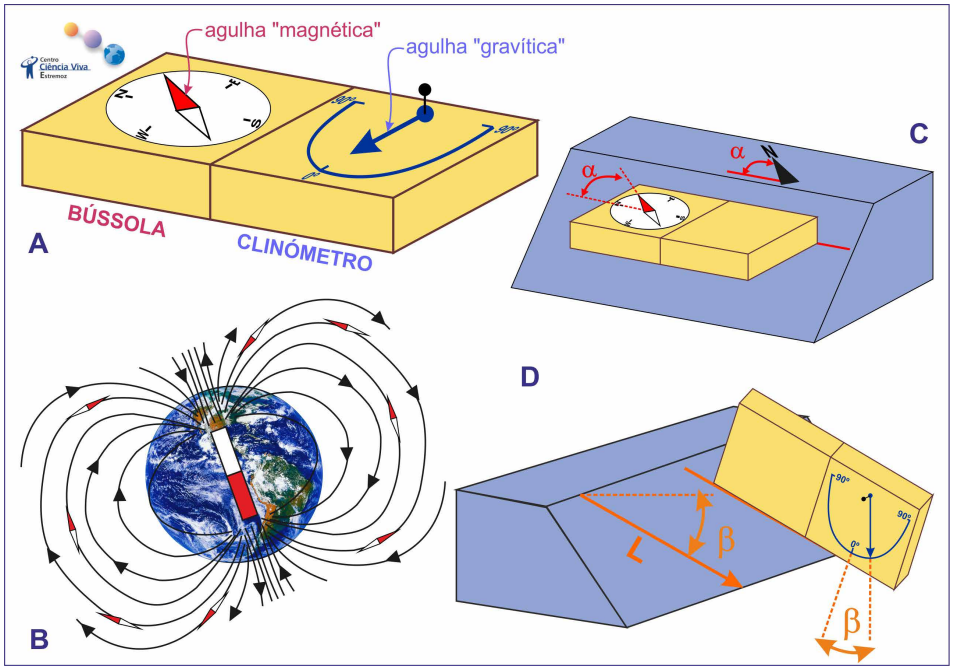
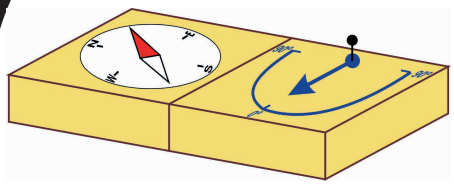



**Fig. 3 -** Aspectos gerais relacionados com a bússola de geólogo.
**A -** Principais componentes;
**B -** A agulha magnética e o campo magnético terrestre;
**C -** Utilização para a determinação de direcção;
**D -** Utilização para a determinação de inclinações.

- Uma **bússola** normal contendo uma agulha magnetizada montada num eixo que permite que, quando este está na vertical a agulha rode livremente e se alinhe de acordo com as linhas de força do campo magnético. Isto implica que há medida que as medições são feitas a latitudes mais altas (i.e. mais perto dos pólos) a agulha magnética fica mais verticalizada (fig. 3B) dificultando as medições; este problema não se coloca quando se trabalha a latitudes baixas ou moderadas, pelo que não é um problema no caso de Portugal. É importante salientar que para que o eixo esteja verticalizado é necessário que a superfície da caixa da bússola esteja horizontal, caso contrário a agulha magnética não roda livremente. Em torno da agulha magnética existe uma escala circular de 360º o que torna fácil ler ângulos (**α**) entre o lado maior da caixa da bússola e a agulha magnética (fig. 3C).

- Um **clinómetro** constituído essencialmente por uma agulha montada num eixo que, quando a superfície da caixa da bússola é colocada verticalmente, roda actuada pelo campo gravítico, dispondo-se na vertical. Em torno desta agulha existe uma escala graduada 90º - 0º - 90º o que torna directo a leitura de ângulos (**β**) entre o lado maior da caixa da bússola e a vertical (fig. 3D).

# 4.5 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



Torna-se agora fácil determinar os parâmetros necessários à determinação da atitude tanto de linhas como de planos utilizando uma bússola de geólogo.

No caso de uma linha (fig. 4), começa por se materializar (por exemplo utilizando o caderno de campo) o plano vertical que contém a linha, ao qual se encosta o lado maior da bússola que tem que estar com a superfície horizontal (fig. 4A); basta então ler o ângulo indicado pela agulha magnética para se ter a direcção da linha. Em seguida coloca-se o lado maior da caixa da bússola paralelo à linha tendo o cuidado de manter a superfície da bússola na vertical (fig. 4B) de modo à agulha do clinómetro poder rodar livremente; o valor indicado pela agulha é o ângulo de mergulho da linha.

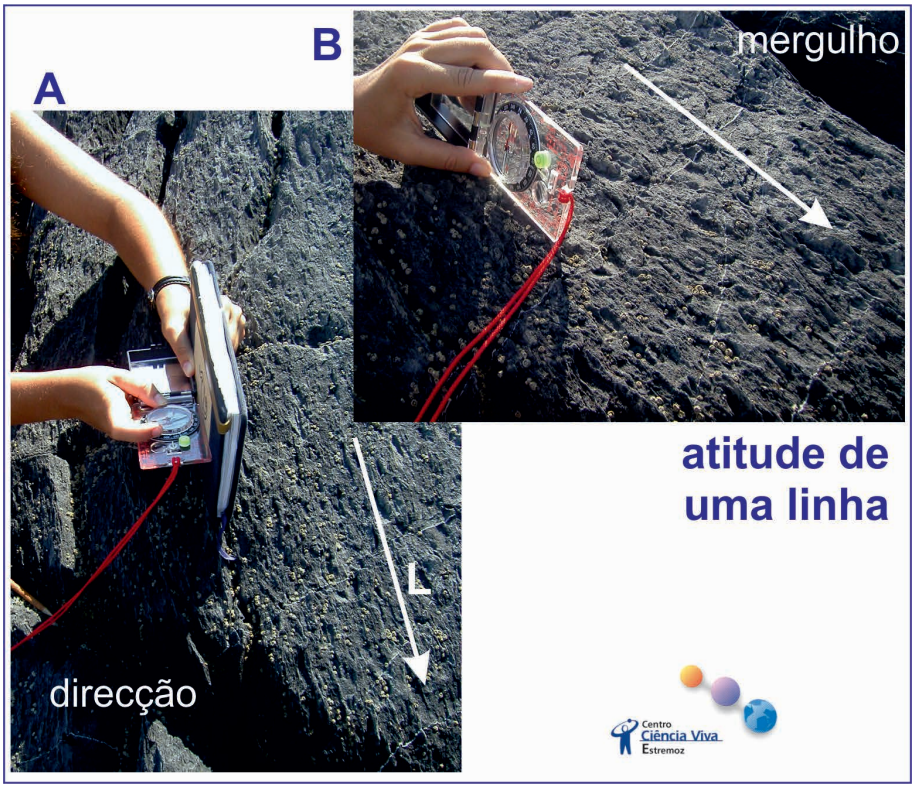
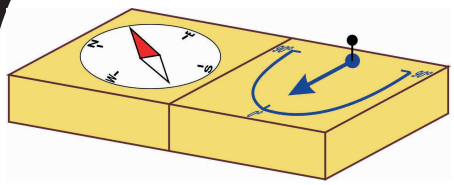



**Fig. 4 -** Determinação da atitude de uma linha com a bússola de geólogo.
**A -** Determinação da direcção;
**B -** Determinação do mergulho.

Para a determinação da atitude de um plano (fig. 5), começa por se encostar o lado maior da caixa da bússola à superfície que se quer medir, tendo o cuidado de manter a superfície da bússola horizontal (fig. 5A); o valor angular indicado pela agulha magnética é a direcção do plano.

Em seguida encosta-se o lado maior da bússola à linha de maior declive do plano mas mantendo agora a superfície da mesma na vertical (fig. 5B); o valor angular indicado pela agulha do clinómetro é a inclinação do plano.

# 4.6 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



Com alguma prática e em determinadas situações os processos anteriores podem ser simplificados tornando a determinação das atitudes de planos e linhas mais rápida (sem perca de rigor), o que é importante quando se está a fazer trabalho de campo sistemático o qual implica por vezes a obtenção de centenas ou milhares de atitudes.




**Fig. 5 -** Determinação da atitude de uma linha com a bússola de geólogo.
**A -** Determinação da direcção;
**B -** Determinação do mergulho.

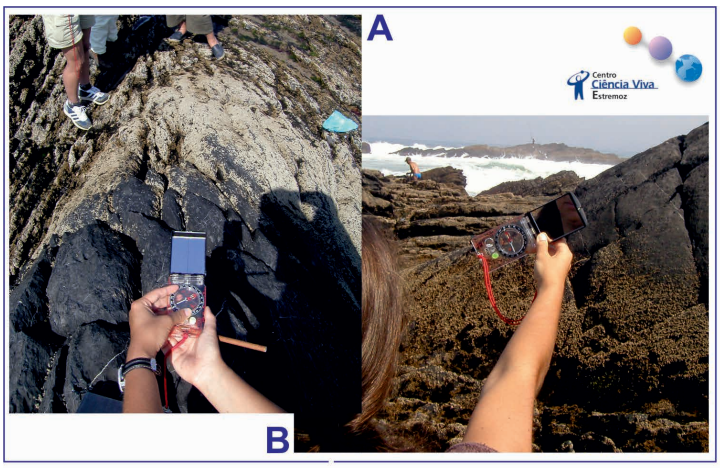
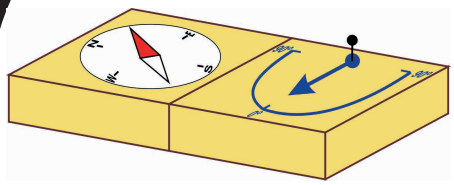



**Fig. 6 -** Determinação da atitude de uma linha com a bússola de geólogo.
**A -** Determinação da direcção;
**B -** Determinação do mergulho.

A figura 6 mostra a medição expedita da atitude da charneira de uma dobra. Sendo possível observar a charneira por cima é fácil colocar a bússola na horizontal e manter o lado maior desta paralelo à orientação da charneira da dobra (fig. 6A); nesta posição basta ler o ângulo **α** indicado pela agulha magnética para se ter a direcção da charneira. A determinação do mergulho da charneira também pode ser feita por mirada, colocando-nos numa posição lateral à dobra de modo a observar a charneira numa posição perpendicular ao seu mergulho; nesta posição basta colocar o lado maior da bússola paralelo à charneira (fig. 6B) e ler o ângulo **β** directamente no valor indicado pela agulha do clinómetro.

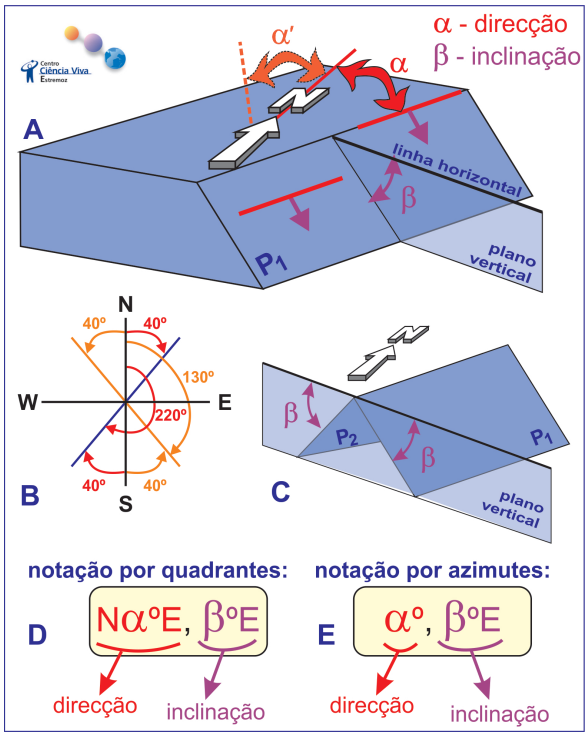
# 4.7 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



## // UMA QUESTÃO DE NOMENCLATURAS

**S**e os processos anteriores nos permitem determinar os principais parâmetros angulares (**α** e **β**) necessários à determinação da orientação de planos e linhas, é ainda necessário abordar a questão das nomenclaturas pois estes valores angulares só por si são insuficientes para caracterizar as atitudes destas estruturas sem ambiguidades. Existem diversas variantes sobre a forma de indicar estas atitudes, e não existe uma que possa ser considerada melhor do que a outra, desde que esteja garantido que na nomenclatura utilizada cada atitude indique apenas um e um só elemento estrutural (i.e. plano ou linha).

Neste texto iremos indicar apenas duas das mais utilizadas: a notação por quadrantes e a notação por azimutes.

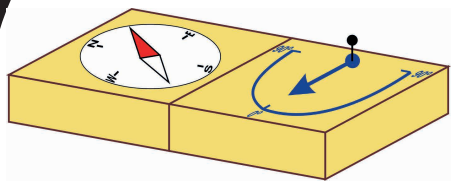



Comecemos por considerar a orientação de planos (fig. 7). Como já foi referido, se considerarmos o plano $P_1$ a sua orientação pode ser definida utilizando os parâmetros angulares **α** e **β** (fig. 7A). O parâmetro **α** indica o ângulo medido no plano horizontal entre o Norte magnético e a direcção do plano (isto é a linha horizontal contida no plano). Como é fácil perceber este valor angular só por si é insuficiente para caracterizar a direcção do plano, pois ele pode ter sido medido a partir do norte no sentido dextrógiro ou sinistrógiro (Fig. 7A; respectivamente **α** e **α'**). Houve

**Fig. 7** - Nomenclatura utilizada na indicação das orientações de planos.
**A -** Parâmetros angulares utilizados;
**B -** Valores angulares numa rosa dos ventos;
**C -** Dois planos com iguais **α** e **β** mas sentidos opostos;
**D -** Notação por quadrantes;
**E -** Notação por azimutes.

por isso a necessidade de arranjar uma forma de se resolver esta ambiguidade, a qual varia consoante se utilize a notação por quadrantes ou por azimutes. Começando pela notação por quadrante, o problema resolve-se facilmente pela indicação de qual o ponto cardeal em direcção ao qual se está a fazer a medida; por isso na situação em que o ângulo é dextrógiro a direcção é indicada como "N**α**°E" e na situação sinistrógira como "N**α**'°W". Caso se utilize a notação por azimutes a ambiguidade não se coloca pois os ângulos são sempre medidos no sentido dextrógiro e a direcção no primeiro caso é apenas indicada

# 4.8 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



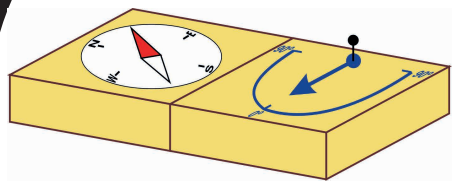
como "**α**º" e no segundo caso como "(360º-**α**')". Concretizando esta situação com valores angulares concretos (40º) de modo a ser mais explícito (fig. 7B): A direcção do caso em que o ângulo é medido no sentido dextrógiro pode ser indicada em notação por quadrantes como "N40ºE" ou S40ºW" e em notação azimutal como "40º" ou "220º". No caso em que o ângulo é medido em sentido sinistrógiro, em notação por quadrantes temos "N40ºW" ou "S40ºE" e em notação azimutal "130º" ou "330º".

Falta apenas referir a inclinação do plano que como vimos anteriormente se traduz pelo ângulo **β** medido entre a linha de maior declive do plano e uma linha horizontal (fig. 7A). Mas também aqui a simples indicação do valor angular é insuficiente, pois é possível termos dois planos com a mesma direcção e o mesmo ângulo de inclinação mas inclinando em sentidos opostos (fig. 7C). A situação resolve-se facilmente indicando a seguir ao valor do ângulo de inclinação o ponto cardeal para onde inclina o plano; deste modo, o plano $P_1$ da figura 7A pode ser indicado em notação por quadrantes como "N**α**ºE, **β**ºE" (fig. 7D) e na notação azimutal como " **α**º, **β**ºE" (fig. 7E) ou qualquer uma das variantes referidas na figura 7B. Repare-se que ao se indicar para onde inclinava o plano não houve grande cuidado em dar o sentido da inclinação com grande rigor. Na realidade o plano inclina mais para SE do que para E, mas a intenção é apenas separar dos casos em que o plano inclina para NW e por isso, muitas vezes damos os pontos cardeais sem nos preocuparmos em escolher o ponto colateral mais próximo, pois isso não implica nenhuma falta de rigor e é mais rápido o que é fundamental quando se estão a realizar centenas de medições.

Consideremos agora a determinação da atitude de linhas (fig. 8A). Como já referimos anteriormente a linha $L_1$ indicada na figura 8A fica perfeitamente caracterizada pelos parâmetros angulares **α** e **β**, onde o primeiro valor diz respeito à orientação do plano vertical que contém a linha e o segundo ao seu mergulho.

É fácil de ver que a indicação apenas destes dois valores angulares é insuficiente para se caracterizar a atitude da linha sem ambiguidades, pois o mesmo plano vertical tem duas linhas que mergulham o mesmo valor angular mas em sentidos opostos (fig. 8B; $L_1$ e $L_2$).

# 4.9 DA BÚSSOLA DE GEÓLOGO À ORIENTAÇÃO DE PLANOS E LINHAS



De modo a eliminar esta ambiguidade, convencionou-se que na atitude das linhas se indica em primeiro lugar o valor angular do seu mergulho e depois o sentido da sua inclinação. Deste modo, a atitude da linha $L_1$ em notação por quadrante é "**β**°,N**α**°E" e em notação azimutal "**β**°,**α**°". Repare-se que quando estamos a determinar a atitude das linhas temos que ter o cuidado de ao determinar a atitude do plano vertical que contém a linha indicarmos a sentido para onde está a mergulhar a linha. Concretizando com as linhas $L_1$ e $L_2$ (fig. 8B), a primeira tem de atitude "**β**°,N**α**°E" e a segunda "**β**°,S **α**°W" (ou "**β**°,**α**°" e "**β**°,(**α**°+180°)" em notação azimutal).

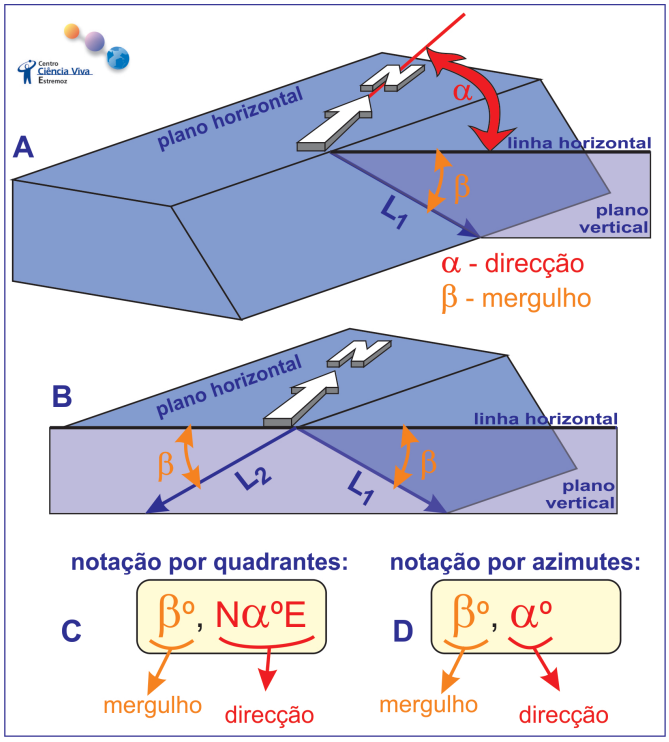



**Fig. 8 -** Nomenclatura utilizada na indicação das orientações de linhas.
**A -** Parâmetros angulares utilizados;
**B -** 2 linhas com iguais valores de **α** e **β**, mas mergulhos opostos;
**C -** Notação por quadrantes
**D -** Notação por azimutes.

Centro Ciência Viva de Estremoz
Novembro de 2016