

Capítulo 4

Controle da Radiação Solar

4.1 Geometria da insolação

4.1.1 Insolação e arquitetura

Nas localidades onde o clima é predominantemente quente, deve-se evitar que a radiação solar direta atinja as construções e penetre excessivamente nos ambientes, prevenindo-se, assim, ganhos demasiados de calor.

Para proteger a envoltória de uma edificação, seja com elementos construídos, seja com vegetação, é necessário poder-se determinar a posição do Sol, para o local em questão, na época do ano em que se deseja barrar seus raios diretos. Para tal, tem-se que recorrer a algumas noções básicas da Geometria da Insolação, a qual possibilitará determinar, graficamente, os ângulos de incidência do Sol, em função da latitude, da hora e da época do ano.

4.1.2 Movimento aparente do Sol

Como visto no item 3.1 (Noções de clima), um observador localizado em um ponto qualquer da superfície do globo terrestre terá a impressão de que é o Sol que se movimenta ao redor da Terra, ao longo do dia e do ano. Este efeito, decorrente dos movimentos de translação e rotação da Terra e da inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da eclíptica (em torno de $23\frac{1}{2}^\circ$), é denominado Movimento Aparente do Sol.

Assim, um observador situado em um local do globo terrestre verá o Sol se mover ao redor da Terra, variando de posição em função da época do ano e da hora do dia. Considerando-se um determinado instante fixo, a inclinação dos raios solares será diferente para observadores situados em latitudes distintas, conforme o item 3.1.

4.1.3 Esfera celeste

Para um observador (A), situado em uma dada latitude da Terra, esta aparentará ser um grande plano e, ao olhar para os corpos celestes, terá a impressão de que se situam em uma superfície esférica, da qual ele é o centro. Esta superfície imaginária, onde os astros são representados por suas projeções, denomina-se esfera celeste. A intersecção dessa esfera celeste com o plano horizontal no qual o observador se imagina apoiado será a linha do horizonte, conforme Figura 22.

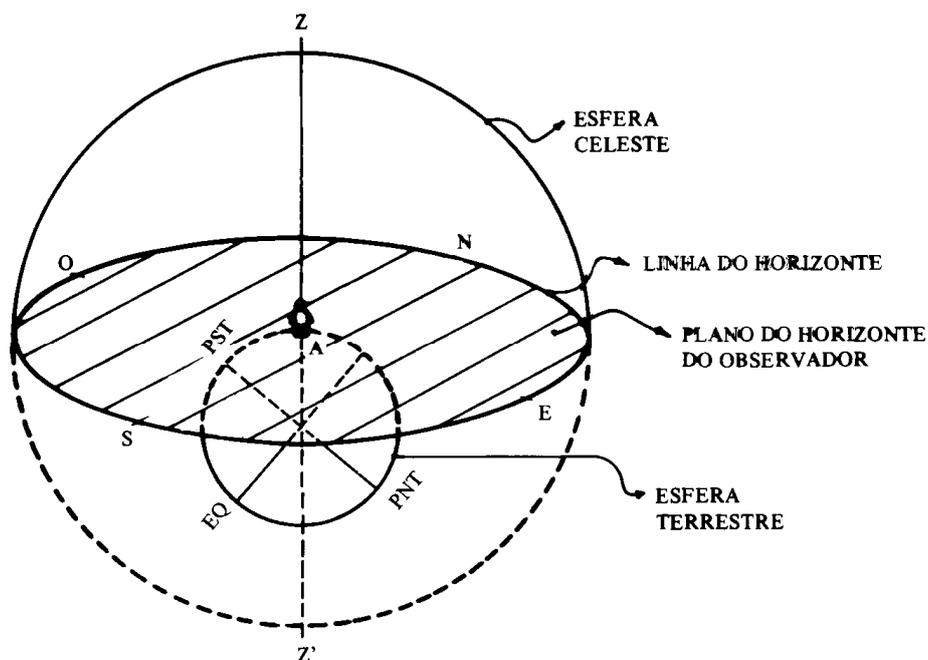


Figura 22 — A esfera celeste.

Considerando-se as enormes distâncias entre os astros e a Terra, pode-se admitir que o raio da esfera celeste seja infinitamente grande para abarcar todos os corpos celestes. Deste modo, o observador localizado na superfície da Terra será sempre considerado como um ponto, coincidente com o centro da esfera celeste. Se a posição do observador se altera na superfície da Terra, modificar-

se-á também a posição do centro da esfera celeste, pois este se moverá junto com o observador.

Os corpos celestes localizados abaixo do plano do horizonte não serão visíveis para o observador em questão.

4.1.4 Zênite e Nadir

Se traçarmos uma linha que passa pelo observador e é perpendicular ao seu plano do horizonte, ela encontrará a esfera celeste em dois pontos: o que se situa acima do observador é denominado Zênite (Z) e aquele abaixo, Nadir (Z').

4.1.5 Pólos celestes

Traçando-se pelo observador uma linha paralela à que une os pólos terrestres, obtêm-se, na intersecção com a esfera celeste, os pólos celestes. O pólo sul celeste localizar-se-á no mesmo sentido do pólo sul terrestre, e o pólo norte celeste, no do pólo norte-terrestre.

O equador celeste é obtido traçando-se pelo observador um plano paralelo ao equador terrestre, o qual será também, por consequência, perpendicular à linha que une os pólos celestes.

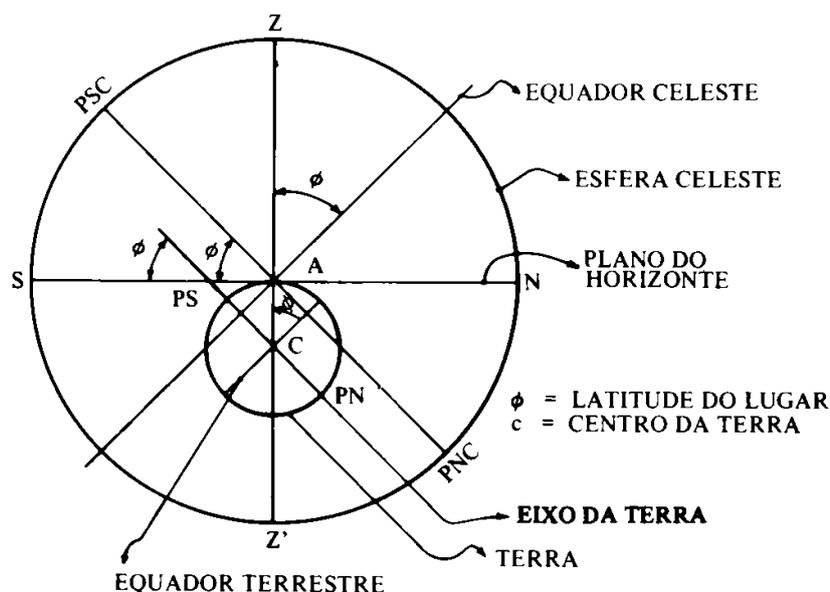


Figura 23 — Pólos celestes.

4.1.6 Pontos cardeais

O semicírculo definido pelos pontos Z, PSC, Z' e Z cortará o plano do horizonte do observador, definindo uma linha. Esta, ao encontrar-se com a esfera celeste, determinará o ponto cardinal Sul (S) deste observador. Do mesmo modo que a linha obtida do cruzamento do semicírculo Z, Z' e PNC, Z determinará o ponto cardinal Norte (N), conforme indicado na Figura 24. Tendo-se a linha norte-sul, obtem-se a leste-oeste por perpendicularidade.

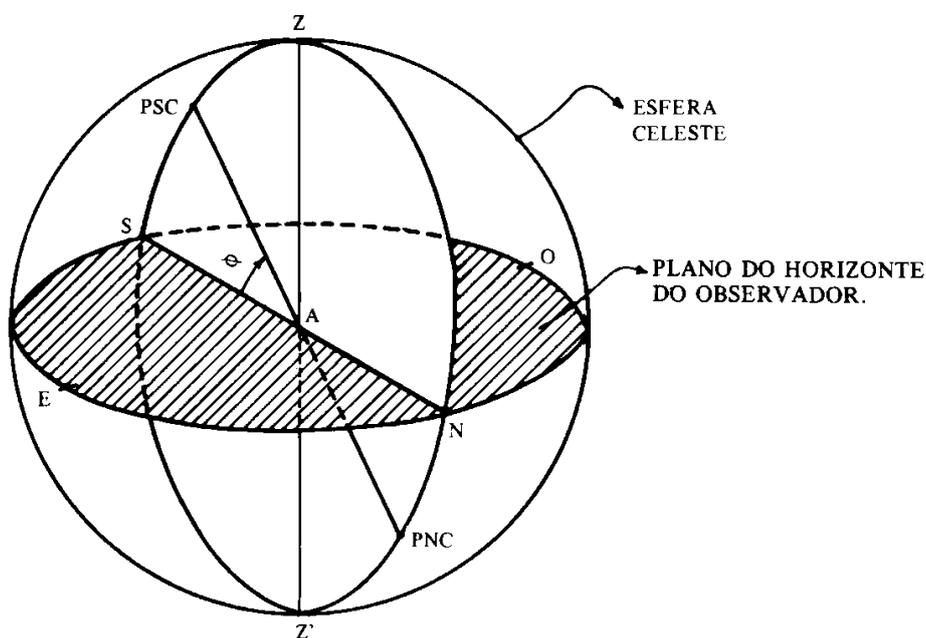


Figura 24 — Pontos cardeais.

4.1.7 Altura e azimute

Para um observador em uma dada latitude da Terra, a posição de um corpo celeste em relação ao seu plano do horizonte pode ser perfeitamente determinada a partir de dois ângulos: a altura e o azimute.

Assim, imaginando-se a estrela X localizada na esfera celeste conforme ilustrado na Figura 25, por ela se pode passar um plano, que contém o observador A e que é perpendicular ao seu plano do horizonte. A linha AX' corresponde à projeção AX no plano do horizonte do observador.

A altura (h) da estrela é medida a partir do plano do horizonte do observador, indicando, assim, quantos graus acima deste plano o corpo celeste é visível ao observador (arco XX').

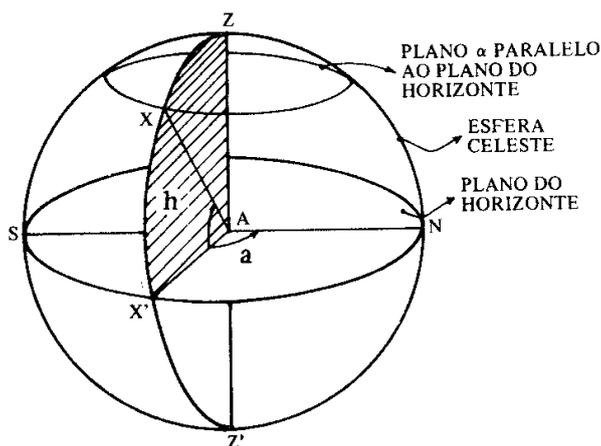


Figura 25 — Altura e azimute de um corpo celeste.

O azimute (a) é medido no plano do horizonte, a partir da direção norte (arco NX'). Deste modo indicará quantos graus, à direita do norte do observador, passa o plano perpendicular ao do horizonte, que contém a estrela X e o observador A.

4.1.8 Altura e azimute solar

A posição horária do Sol é também determinada a partir de ângulos azimutais e das alturas, em função da latitude do observador. A latitude, como foi visto, determinará a posição dos pólos celestes e, conseqüentemente, das direções norte-sul e leste-oeste do observador. O azimute solar — a — é a medida angular tomada a partir da orientação norte do observador. A altura solar — h — se relaciona com a hora do dia. Ao nascer do sol, sua altura é igual a zero, aumentando esse valor até atingir um máximo ao meio-dia. Após esse horário, a altura solar passará a decrescer de valor até igualar-se a zero, no pôr-do-sol.

Assim, para efeitos práticos imagina-se que o Sol localiza-se, ao longo do dia, em planos sucessivos, paralelos ao plano do horizonte do observador. O valor da altura solar será então dado pelo ângulo h , indicado na Figura 25 como sendo aquele entre o plano do horizonte e o plano α , que contém o Sol em um determinado instante.

4.1.9 Movimento aparente das estrelas

Pelo movimento de rotação da Terra um observador (A), situado em uma dada latitude, terá a impressão de que todos os corpos celestes, inclusive o Sol, se movimentam no céu descrevendo um círculo paralelo ao equador celeste.

Assim, tomando-se como referência a estrela X, na Figura 26, com relação ao observador A, ela aparentará descrever o círculo X', X, X'', X', sendo visível apenas no trecho X', X, X'', acima do plano do horizonte do observador e durante a noite.

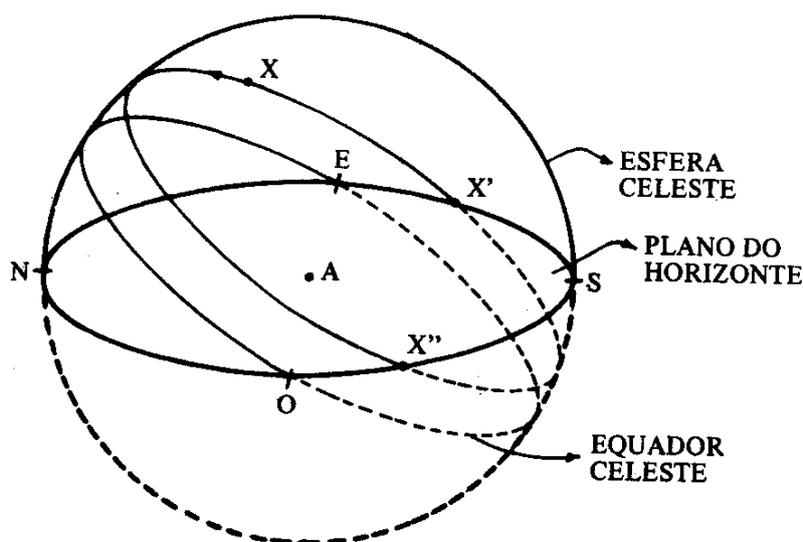


Figura 26 — Movimento aparente das estrelas.

Já o movimento de translação da Terra afeta apenas o Sol e os corpos celestes pertencentes ao sistema solar. A posição aparente das estrelas não é afetada por este movimento devido à distância delas até a Terra ser infinitamente maior do que entre esta e o Sol e os planetas que compõem seu sistema.

4.1.10 Trajetória aparente do Sol

O movimento aparente do Sol ao longo do dia e do ano, como consequência dos movimentos de rotação e translação da Terra, é semelhante ao de uma espiral quase paralela. Na Terra, este percurso solar corresponderá à zona situada entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio, demorando seis meses em cada direção.

Na prática, para um determinado observador na Terra, o movimento aparente do Sol é descrito como uma série sucessiva de circunferência na esfera celeste, paralelas ao equador celeste, com inclinações sobre o plano do horizonte variando em função da latitude deste observador.

Esse movimento diário do Sol percebido na esfera celeste como circunferência é denominado *trajetória aparente do Sol*. Assim, pode-se determinar uma trajetória aparente do Sol para cada dia do ano, em função de cada latitude diversa da Terra.

Destas trajetórias, usualmente, pelo menos três são indicadas graficamente: as dos solstícios, que são as extremas do percurso, e as dos equinócios. No solstício de verão tem-se sempre o dia mais longo do ano e no de inverno, o mais curto, a menos no plano do Equador. Equinócio é a denominação que se dá àquelas datas do ano onde o dia tem a mesma duração que a noite, conforme item 3.1 (Noções de clima).

Indicam-se, a seguir, essas trajetórias para um observador situado em algumas latitudes típicas.

4.1.11 Latitude 0° (Equador)

Para o observador localizado na linha do Equador, onde a latitude é 0° , a duração dos dias é igual à das noites, pois os círculos determinados pelas trajetórias aparentes do Sol são perpendiculares ao plano do horizonte do observador. Desse modo, a parte visível da trajetória aparente solar é justamente a metade, conforme indicado na Figura 27.

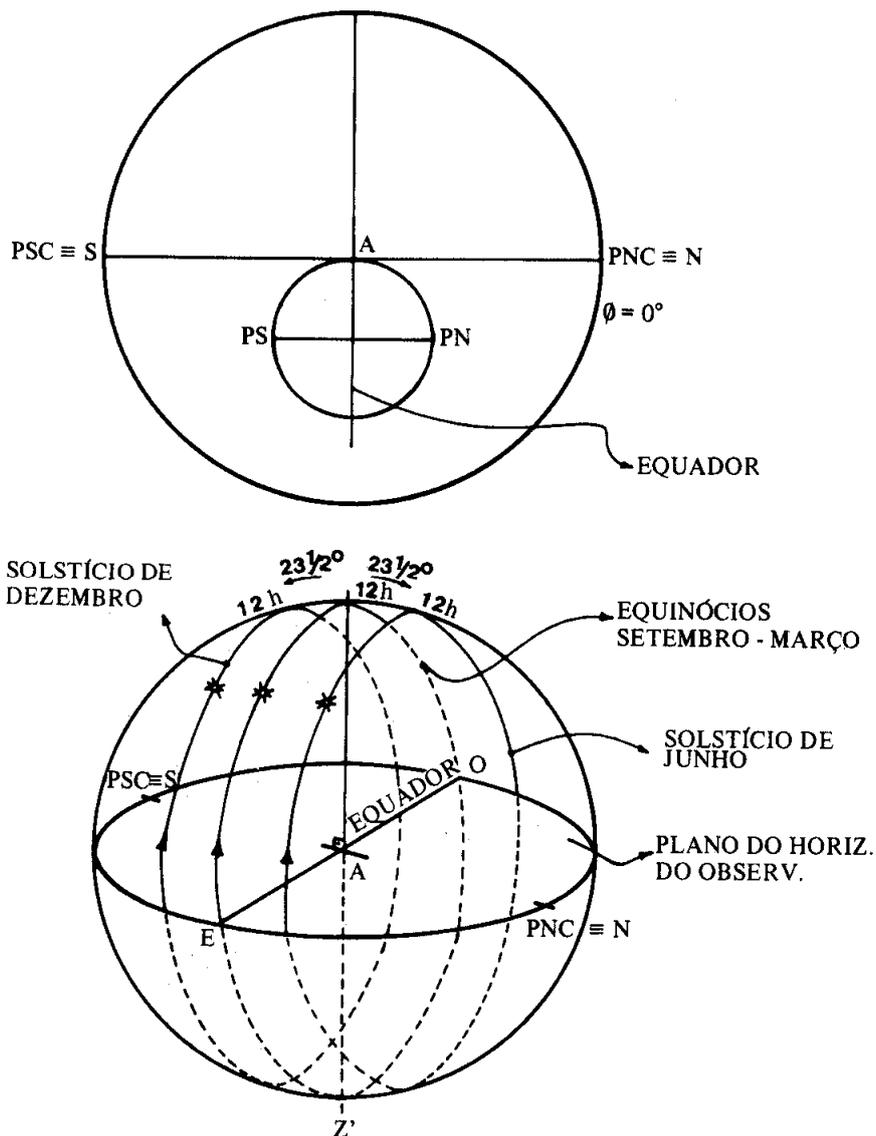


Figura 27 — Trajetórias aparentes do Sol para latitude 0° .

4.1.12 Latitude $23\frac{1}{2}^\circ\text{S}$ (Trópico de Capricórnio)

A latitude $23\frac{1}{2}^\circ$ caracteriza as localidades situadas nos trópicos. Para esta situação geográfica, o Sol apresenta a peculiaridade de estar a pino no solstício de verão ao meio-dia. Isto significa que a altura solar é a máxima possível, ou seja, igual a 90° . Em qualquer outra época do ano, a altura solar máxima diária, característica do meio-dia, será inferior a 90° . No solstício de inverno esse valor atingirá seu mínimo anual. Ver figura 28.

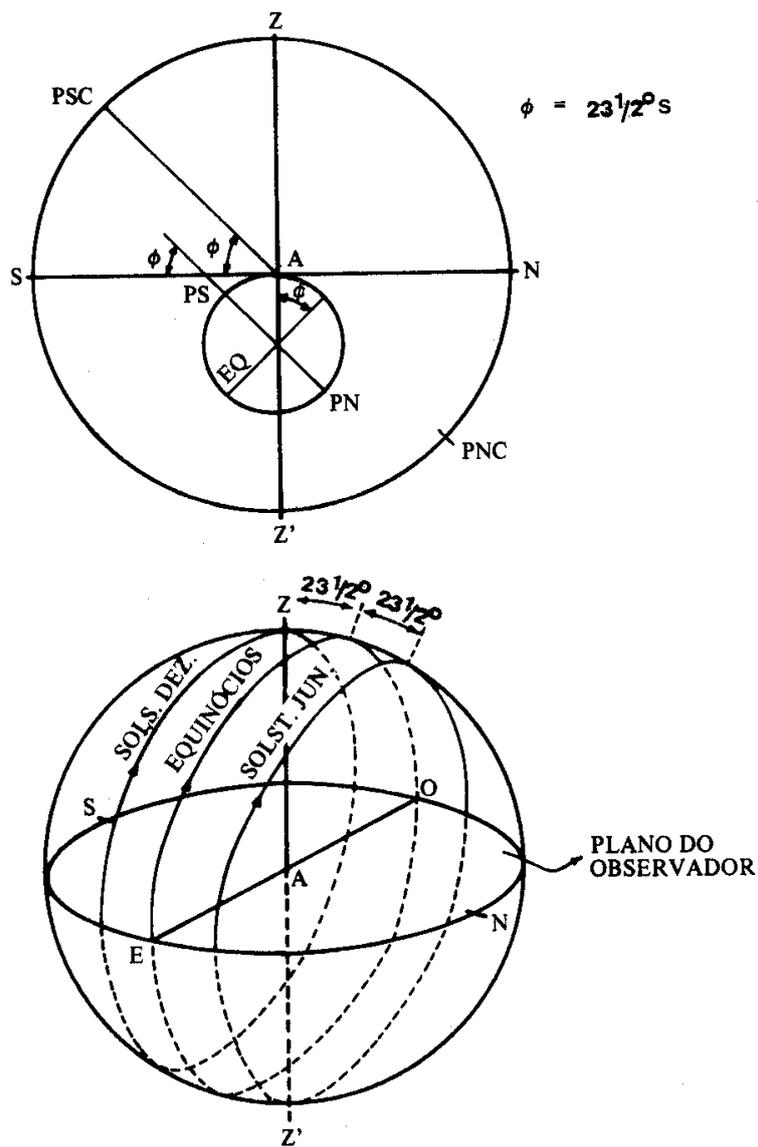


Figura 28 — Trajetórias aparentes do Sol para latitudes $23\frac{1}{2}^{\circ}\text{S}$.

4.1.13 Latitudes entre o Equador e o Trópico

Um observador situado em latitudes intermediárias entre o Equador e o Trópico terá o Sol a pino duas vezes por ano, uma em cada sentido do percurso solar aparente.

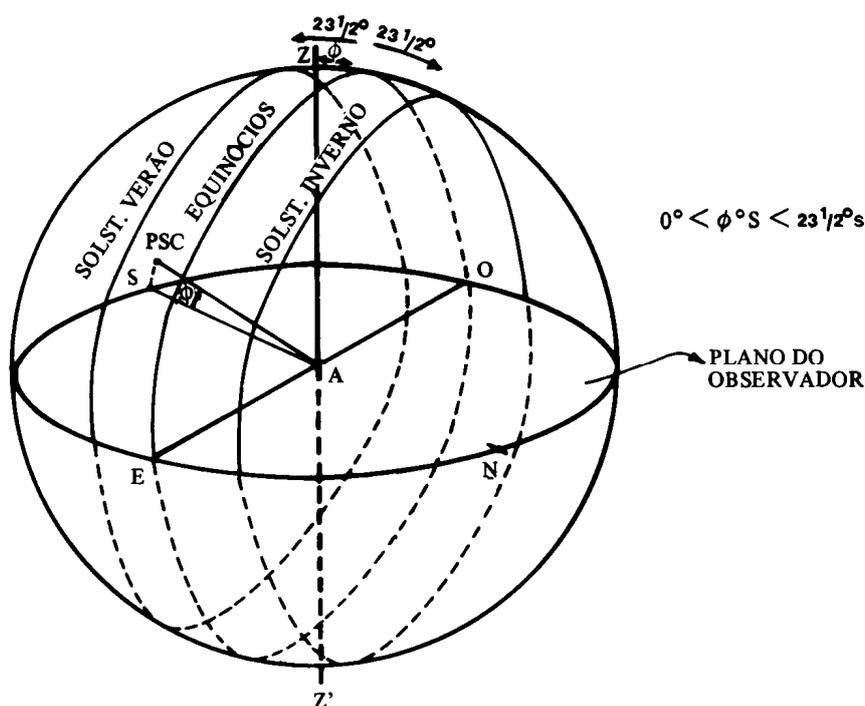


Figura 29 — Trajetórias aparentes do Sol para latitude sul entre o Equador e o Trópico de Capricórnio.

Assim, as trajetórias aparentes extremas caracterizadas pelos solstícios e as dos equinócios podem ser representadas em função da latitude, conforme indicado na Figura 29.

4.1.14 Latitudes superiores a $23\frac{1}{2}^{\circ}$

As latitudes superiores à dos trópicos se caracterizam por não ter o Sol a pino em nenhuma data. Isto se dá em função de essas localidades situarem-se fora da região terrestre sobre a qual, aparentemente, o Sol se movimenta.

4.1.15 Latitude 90° S (Pólo Sul)

As trajetórias do Sol para a latitude 90° S, ou seja, aquela localizada no Pólo Sul, estão representadas na Figura 30.

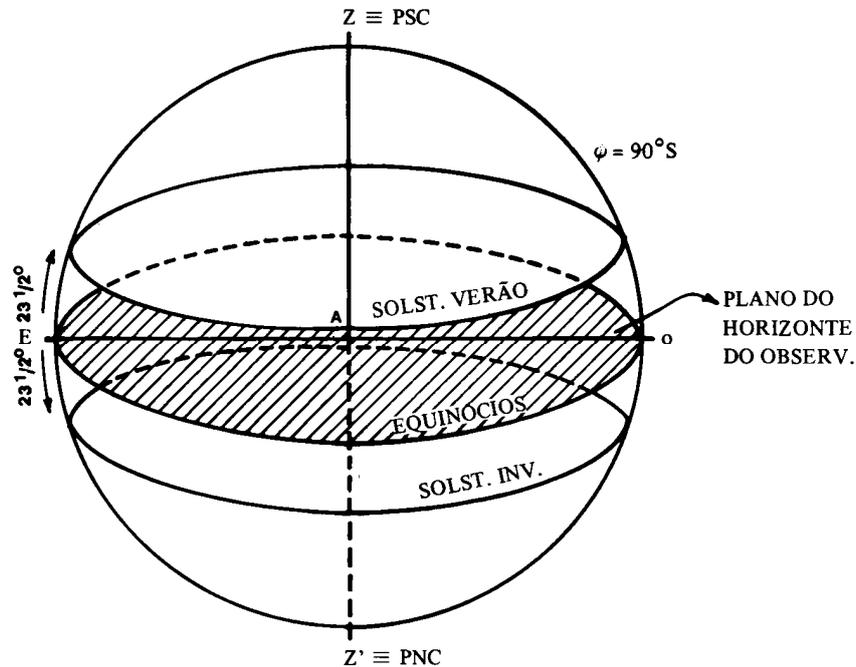


Figura 30 — Trajetórias aparentes do Sol para latitudes 90°S .

Como visto anteriormente, um observador não enxerga objetos situados abaixo do seu plano do horizonte. Em face disso, as trajetórias solares descritas entre o dia do equinócio de outono e o da primavera não são visíveis na latitude 90°S . Esta localidade polar só terá luz solar durante seis meses no ano. No dia do equinócio de outono, o Sol percorrerá a linha do horizonte, após o que desaparecerá por seis meses.

4.1.16 Cartas solares

Na prática, para determinar o ângulo de incidência do Sol sobre uma superfície específica, utilizam-se as cartas solares, que consistem na representação gráfica das trajetórias aparentes do Sol, projetadas no plano do horizonte do observador, para cada latitude específica.

4.1.17 Projeções das trajetórias aparentes do Sol

Existem vários métodos de projeção cartográfica que podem ser utilizados para representação das trajetórias aparentes do Sol, dentre os quais destacam o ortográfico, o eqüidistante e o estereográfico.

Em todos esses métodos a abóbada celeste é representada por um círculo cujo centro é a projeção do zênite do observador no plano do horizonte. Os azimutes solares são representados por linhas irradiadas do centro, e as alturas solares são indicadas por círculos concêntricos, em cada um dos métodos considerados. A projeção estereográfica será utilizada pela facilidade que apresenta para representar as projeções das trajetórias aparentes do Sol, conforme indicado a seguir.

O plano onde se projetam as trajetórias aparentes do Sol é o plano do horizonte do observador. O centro de projeção (C) coincide com o nadir do

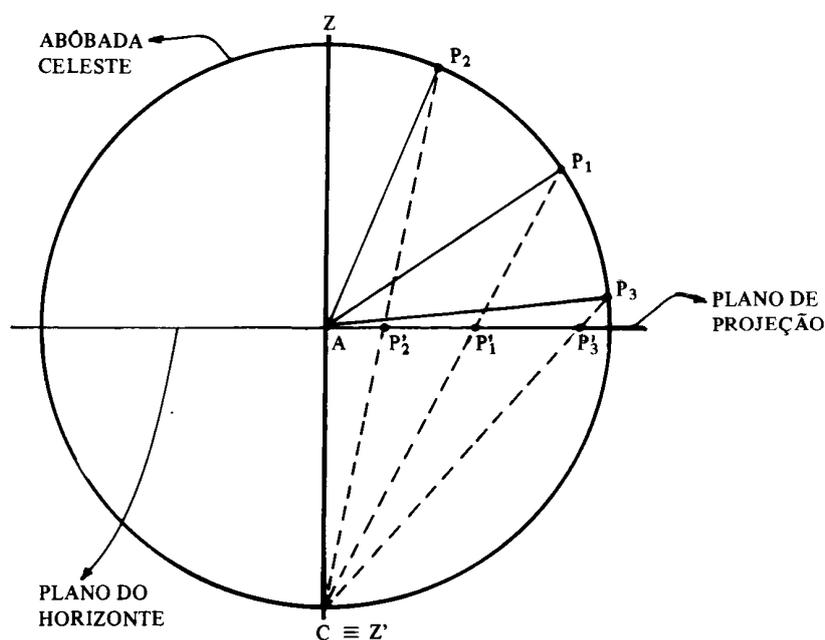


Figura 31 — Projeção estereográfica do Ponto P, em três posições distintas.

observador, conforme indicado na Figura 31. Assim, a projeção dos pontos P_1 , P_2 e P_3 da abóbada celeste, no plano do observador é, respectivamente, P_1' , P_2' , P_3' .

4.1.18 Determinação de Cartas Solares

Deste modo, na projeção estereográfica, as circunferências representativas das alturas solares na abóbada celeste se projetam como circunferências concêntricas. Os azimutes são representados como linhas que partem do centro da abóbada, ou seja, do observador. As trajetórias solares projetam-se como arcos de circunferência (Fig. 32). As cartas, elaboradas segundo o método de projeção estereográfico para algumas latitudes sul encontram-se no Anexo 13. Na prática, utilizar cartas solares cuja variação da latitude repre-

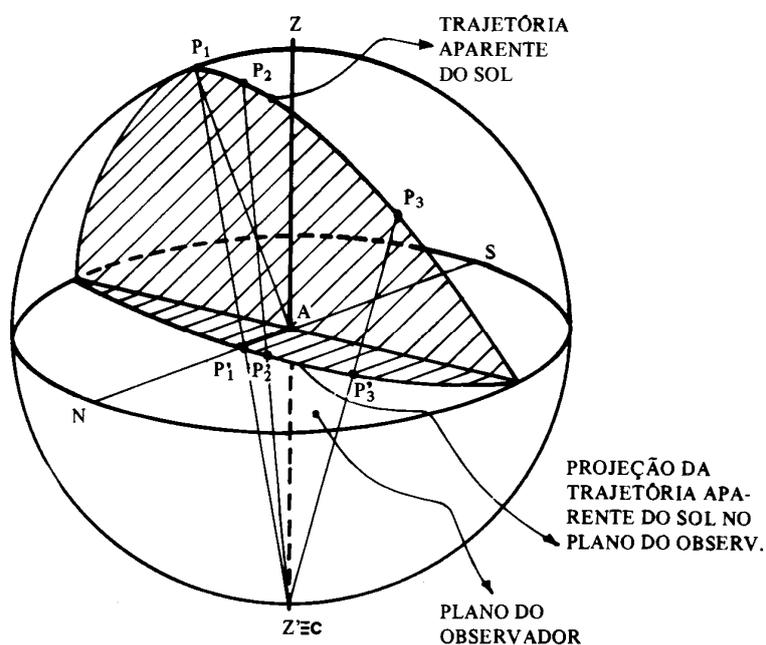


Figura 32 — Projeção estereográfica de uma trajetória aparente do Sol.

sentada, com relação à real, seja até por volta de 3° , não resulta em desvios significativos.

A título de exemplo, a Figura 33 representa a Carta Solar para latitude 24°S , a qual corresponde, com boa aproximação, à cidade de São Paulo ($23\frac{1}{2}^\circ\text{S}$).

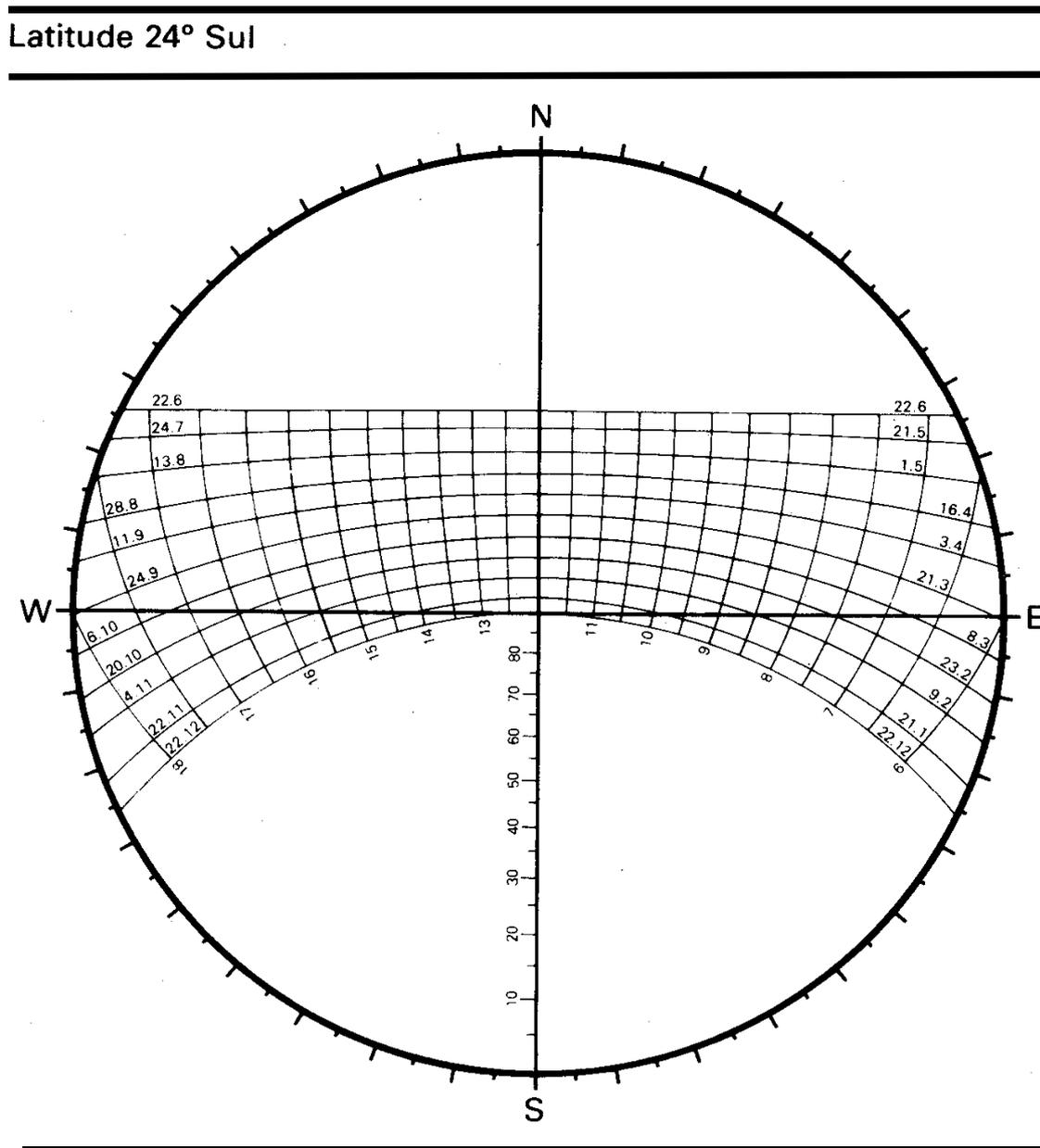


Figura 33 — Carta Solar para latitude 24°S .

4.1.19 Horários de insolação

A informação mais imediata que se pode extrair das cartas solares é a relativa ao horário de insolação sobre superfícies horizontais e verticais, segundo a orientação determinada.

Toma-se como referência a carta solar para latitude 24°S , apresentada na Figura 33.

Tendo-se uma superfície vertical orientada, por exemplo, a NE, marcam-se na carta solar as linhas que definem a fachada e a sua normal, a qual apontará para NE.

A área hachurada na carta solar corresponde à projeção da região da abóbada celeste que se situa atrás da superfície NE em questão. Isto significa

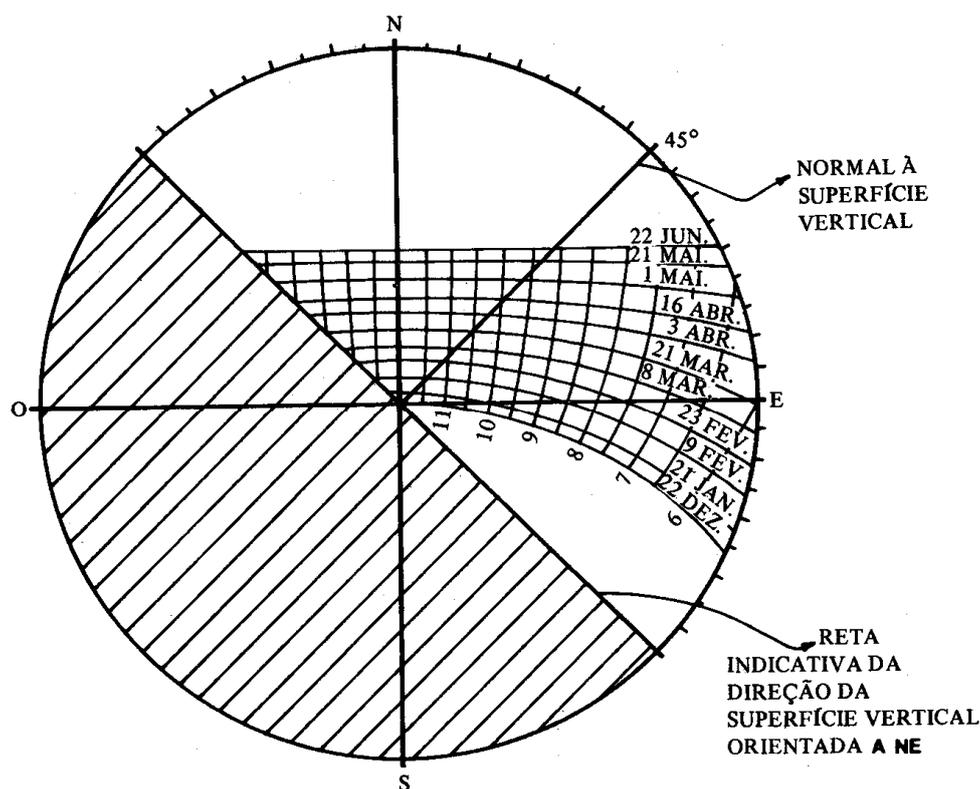


Figura 34 — Horários de insolação para observador situado em superfície vertical em latitude 24° e orientação NE.

que o Sol não atingirá esta superfície quando estiver nessa região da abóbada celeste.

Através de leitura direta na carta solar representada na Figura 34, vê-se que a superfície voltada para NE, se estiver livre de obstáculos externos, receberá radiação direta do Sol, por exemplo, no dia 22 de dezembro desde o nascer do sol até o meio-dia e em 3 de abril até aproximadamente 13 horas e 45 minutos.

O procedimento é o mesmo para se determinar o horário de insolação para superfícies verticais com orientação distinta daquela acima considerada. Deve-se apenas cuidar em marcar corretamente a normal à superfície, que deve apontar para a sua orientação particular.

4.2 Determinação gráfica dos dispositivos de proteção solar

Muitas vezes, ao determinar o horário de insolação sobre uma superfície, podemos concluir que, em certas épocas do ano, ele é excessivo.

Para impedir que a radiação solar direta atinja em demasia principalmente as superfícies transparentes ou translúcidas e as aberturas, podemos utilizar dispositivos de proteção solar.

A determinação do tipo e da dimensão de um dispositivo de proteção solar será feita em função da eficácia desejada. Um dispositivo de proteção solar será eficaz quando for capaz de barrar a radiação solar direta sobre uma dada superfície ou abertura no período que se julgar conveniente.

4.2.1 Ângulo de sombra

Para tal dimensionamento, aplica-se um método gráfico denominado *traçado de máscaras*, o qual se utiliza dos ângulos de sombra resultantes de um dispositivo externo em relação a um determinado ângulo de incidência do Sol, conforme Figura 35.

Os ângulos de sombra são sempre medidos a partir de uma posição específica do observador na abertura considerada. Assim, para uma determinada posição do Sol, apenas parte da abertura pode estar sendo sombreada.

Nesse caso se diz que para este horário a eficiência do dispositivo de proteção solar é parcial. Do mesmo modo que se toda a abertura estiver à sombra

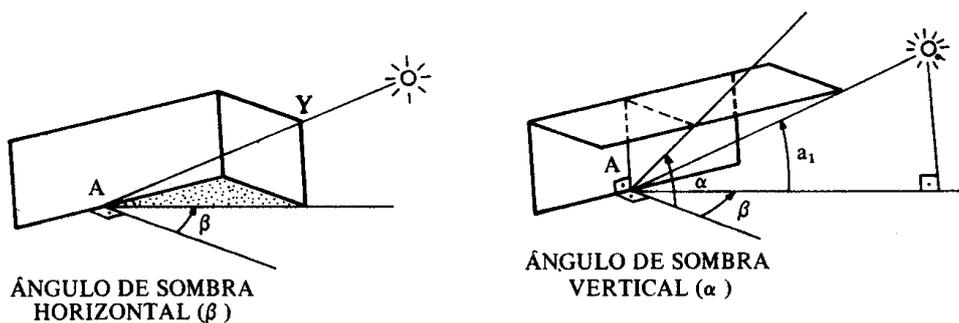


Figura 35 — Ângulos de sombra gerados por dispositivos de proteção solar.

como conseqüência da existência do dispositivo, diz-se que sua eficiência é total, naquele momento. Se, ao contrário, o dispositivo não produzir sombra em nenhum ponto da abertura, sua eficiência será nula, no período em que isto acontecer.

4.2.2 Transferidor auxiliar

Os ângulos de sombra utilizados no método do traçado de máscaras não são expressos em valores numéricos, e sim através de suas projeções estereográficas no plano do horizonte do observador.

Estes ângulos encontram-se demarcados no gráfico denominado *transferidor auxiliar*, apresentado no Anexo 14.

Para melhor compreensão de quais ângulos encontram-se projetados estereograficamente neste gráfico, considera-se um observador A situado em uma superfície vertical e um ponto P externo a esta superfície.

Pelo ponto P traçam-se três retas particulares: r, s, t, conforme Figura 36. A reta r é paralela à superfície vertical e ao plano do horizonte do observador. A reta s é paralela à superfície vertical e perpendicular ao plano do horizonte do observador. A reta t é paralela ao plano do horizonte do observador e perpendicular à superfície vertical.

Portanto, como relação ao observador A, os ângulos α determinarão a posição de retas horizontais paralelas ao seu plano do horizonte; os ângulos β , retas verticais perpendiculares a seu plano do horizonte; e os ângulos γ , retas horizontais perpendiculares à superfície vertical.

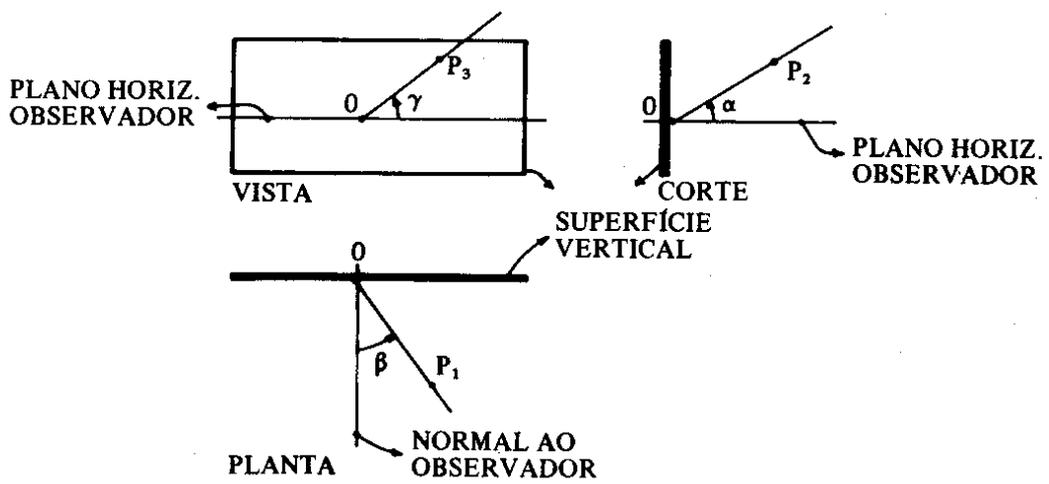
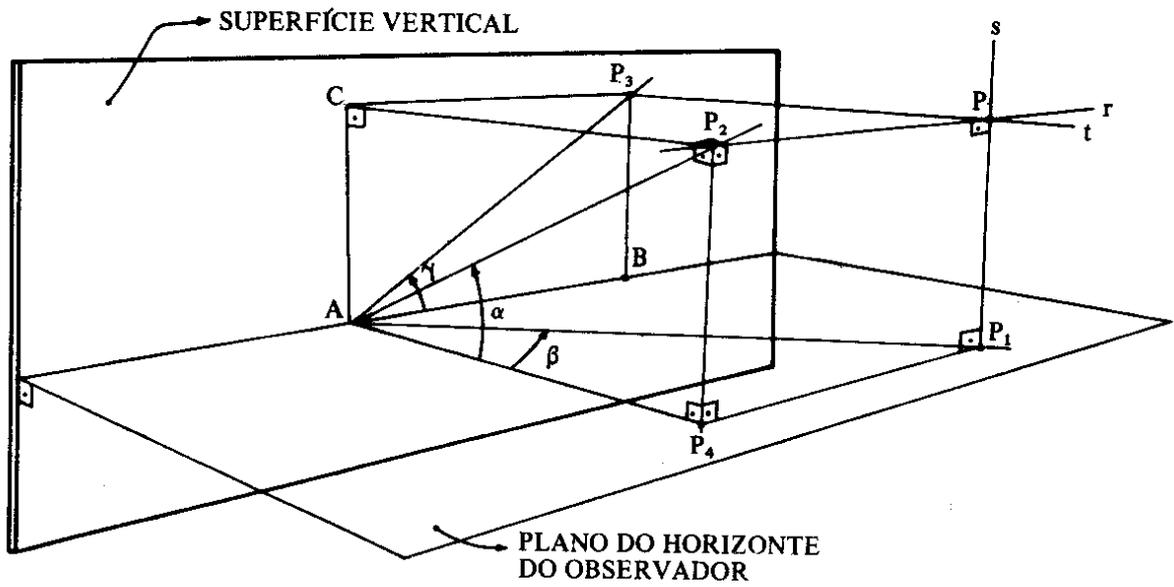


Figura 36 - Ângulos α , β e γ

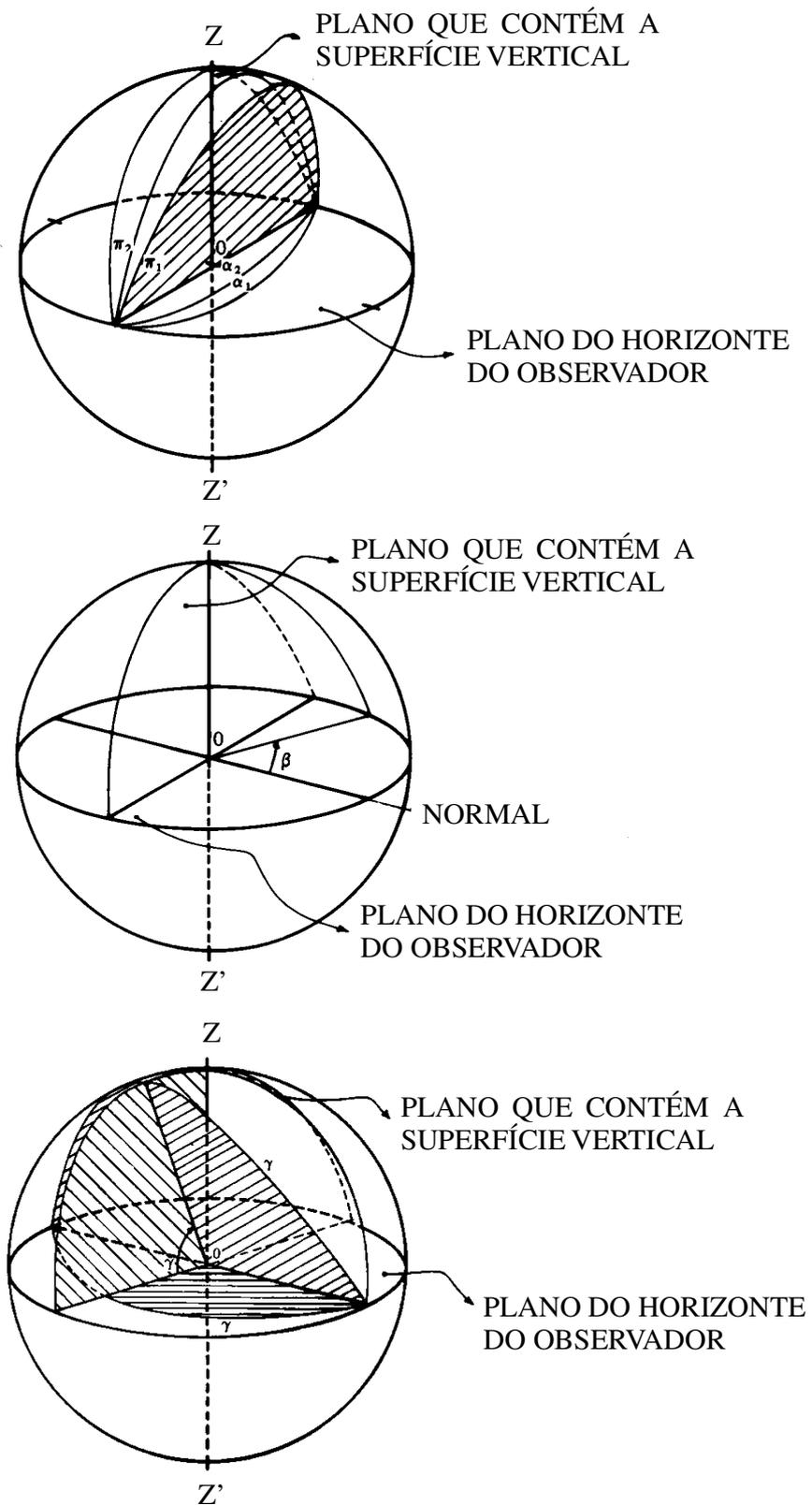


Figura 37 — Representação das projeções estereográficas de planos particulares.

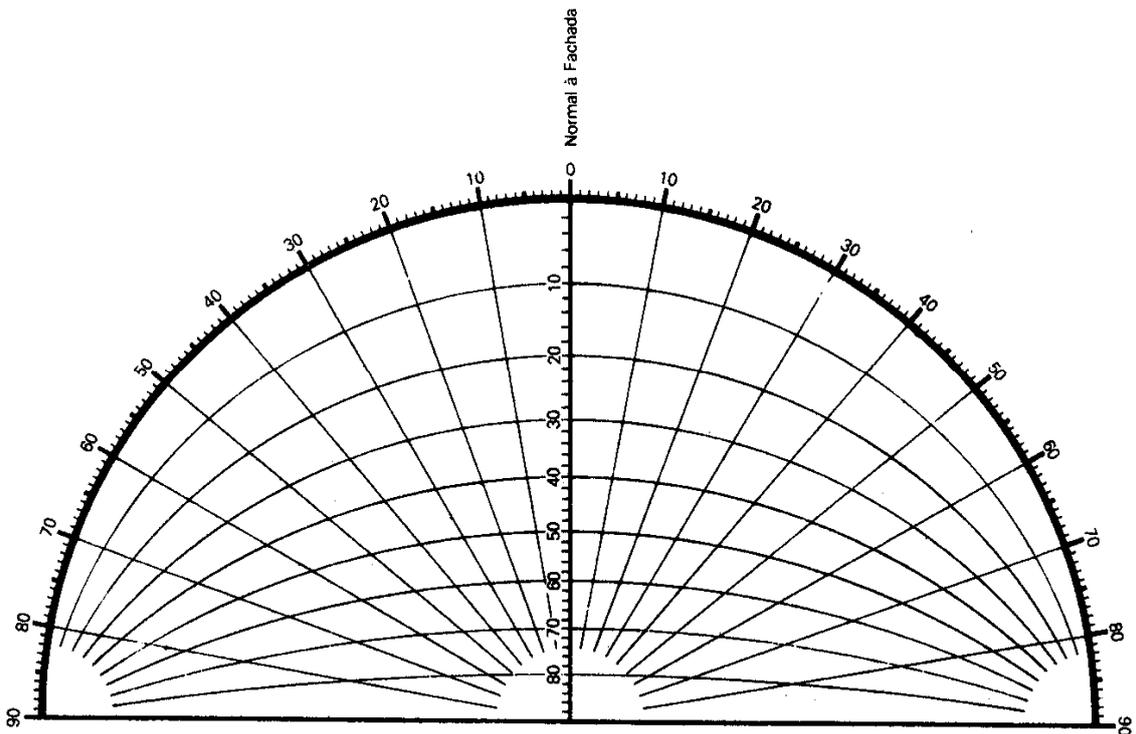


Figura 38 — Modelo de transferidor auxiliar.

O transferidor auxiliar indica as projeções estereográficas sobre o plano do horizonte para um observador situado em uma superfície vertical dos planos definidos por α , β e γ .

No transferidor auxiliar apresentado no Anexo 14 e Figura 38 não se encontram traçados os ângulos γ , visto que, na prática, eles podem ser obtidos através dos ângulos α , girando-se a figura em 90° .

4.2.3 Máscara produzida por placa horizontal infinita

Considera-se uma abertura na superfície vertical da Figura 39. Sobre esta abertura, coloca-se uma placa horizontal de comprimento infinitamente grande. Um observador situado na borda de baixo dessa abertura não enxergará uma parte do céu sobre sua cabeça, a partir do limite do ângulo de sombra vertical (α). Essa região do céu fica assim “mascarada” para este observador.

A região do céu não-visível pelo observador O em função da placa horizontal é a definida pelos planos AZC e ABC. A projeção estereográfica desta

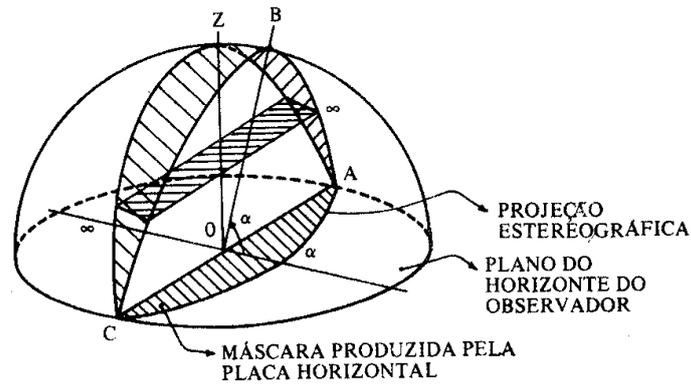
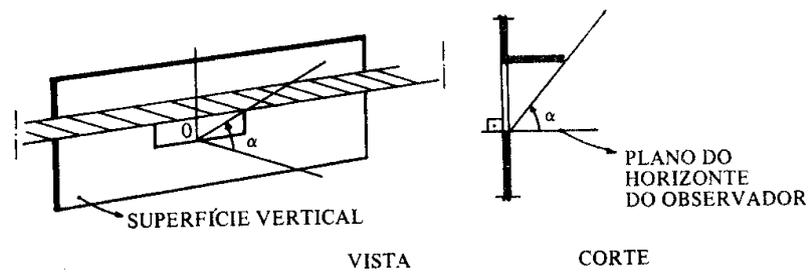


Figura 39 — Placa horizontal infinita sobre abertura em superfície vertical.

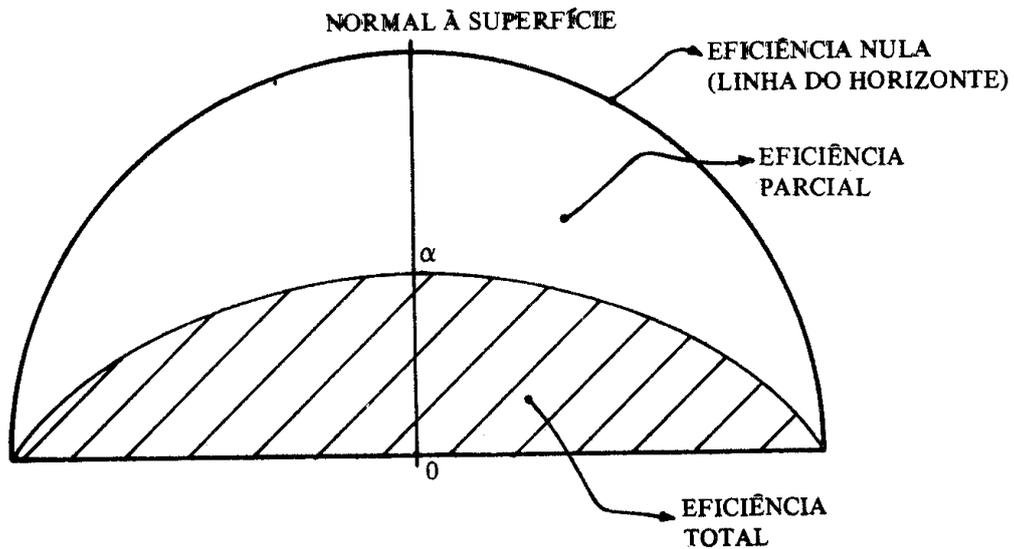


Figura 40 — Máscara produzida por um dispositivo de proteção solar horizontal e infinito.

região no plano do horizonte é a delimitada pelo arco de circunferência AC. Os pontos A e C, por serem pertencentes ao plano do horizonte do observador, o qual é um plano infinito, serão a projeção estereográfica dos pontos no infinito da placa horizontal.

Na prática, tendo-se o ângulo α , lê-se no transferidor auxiliar a sua projeção estereográfica, obtendo-se diretamente a máscara produzida pela placa.

4.2.4 Placas infinitas com idênticos ângulos de sombra vertical

Se examinarmos as ilustrações relativas ao ângulo α , na Figura 39, sobretudo aquela que indica um corte transversal, será possível observar que, na verdade, o ângulo de sombra vertical (α) é medido a partir do plano do horizonte até o limite externo da placa horizontal. Isto significa que se podem desenhar outras placas infinitas inclinadas, cujas bordas também serão definidas por um mesmo ângulo α com o plano do horizonte do observador. Todas estas placas produzirão máscaras cujas zonas de eficiência total serão idênticas, alterando-se apenas as de eficiência parcial e nula (ver figura 41).

4.2.5 Máscara produzida por placa vertical infinita

Tendo-se uma placa vertical de comprimento infinito, colocada na extremidade esquerda da abertura, o observador situado no peitoril, no extremo oposto, deixará de enxergar parte do céu à sua esquerda, a partir do ângulo β até o limite da fachada. O ângulo será denominado β da esquerda ou da direita em função de sua localização em relação à normal ao observador e, portanto, dependerá da posição considerada deste observador na janela (ver figura 42).

4.2.6 Placas infinitas com idênticos ângulos de sombra horizontal

Sendo o ângulo de sombra horizontal (β) medido a partir da reta normal ao observador até a borda externa da placa vertical, pode-se obter o mesmo mascaramento de eficiência total permutando-se a placa vertical lateral por outras inclinadas em relação ao plano da abertura ou deslocados do seu limite lateral. As zonas de mascaramento parcial e nula, no entanto, vão diferir em cada caso (ver figura 43).

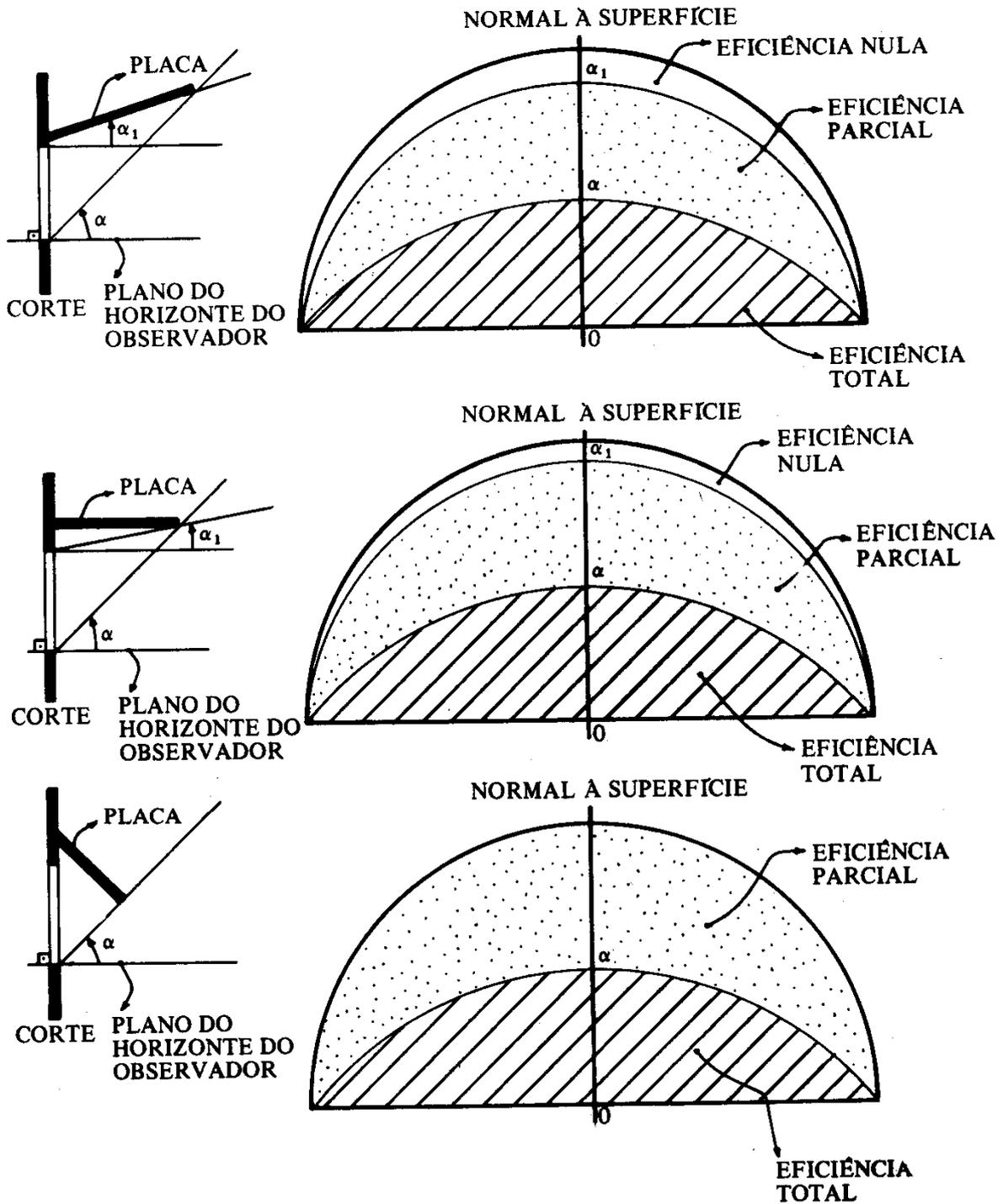


Figura 41 — Exemplos de placas infinitas com mesmo ângulo de sombra vertical e respectivas máscaras.

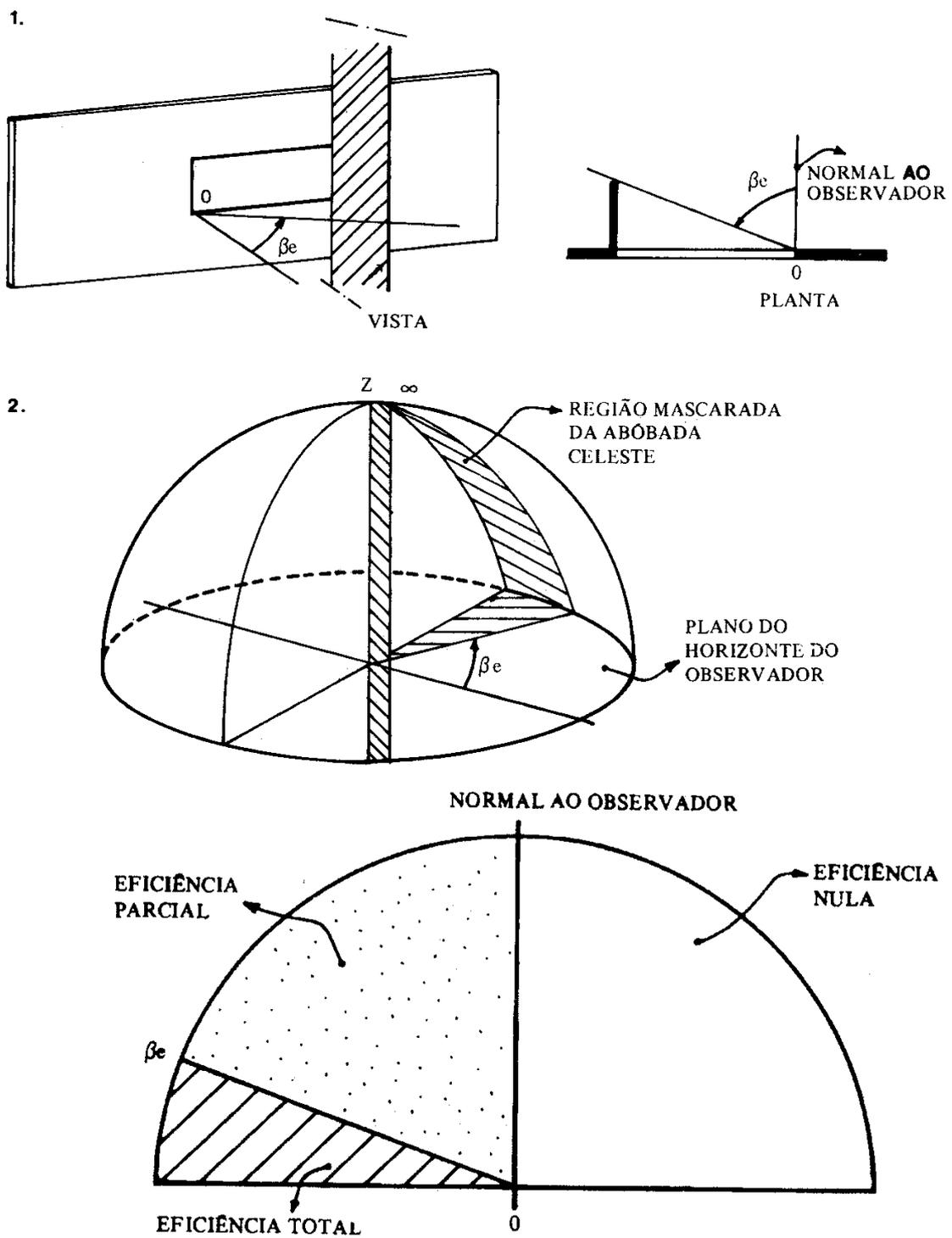


Figura 42 — Máscara de placa vertical infinita agregada à lateral esquerda de uma abertura em superfície vertical.

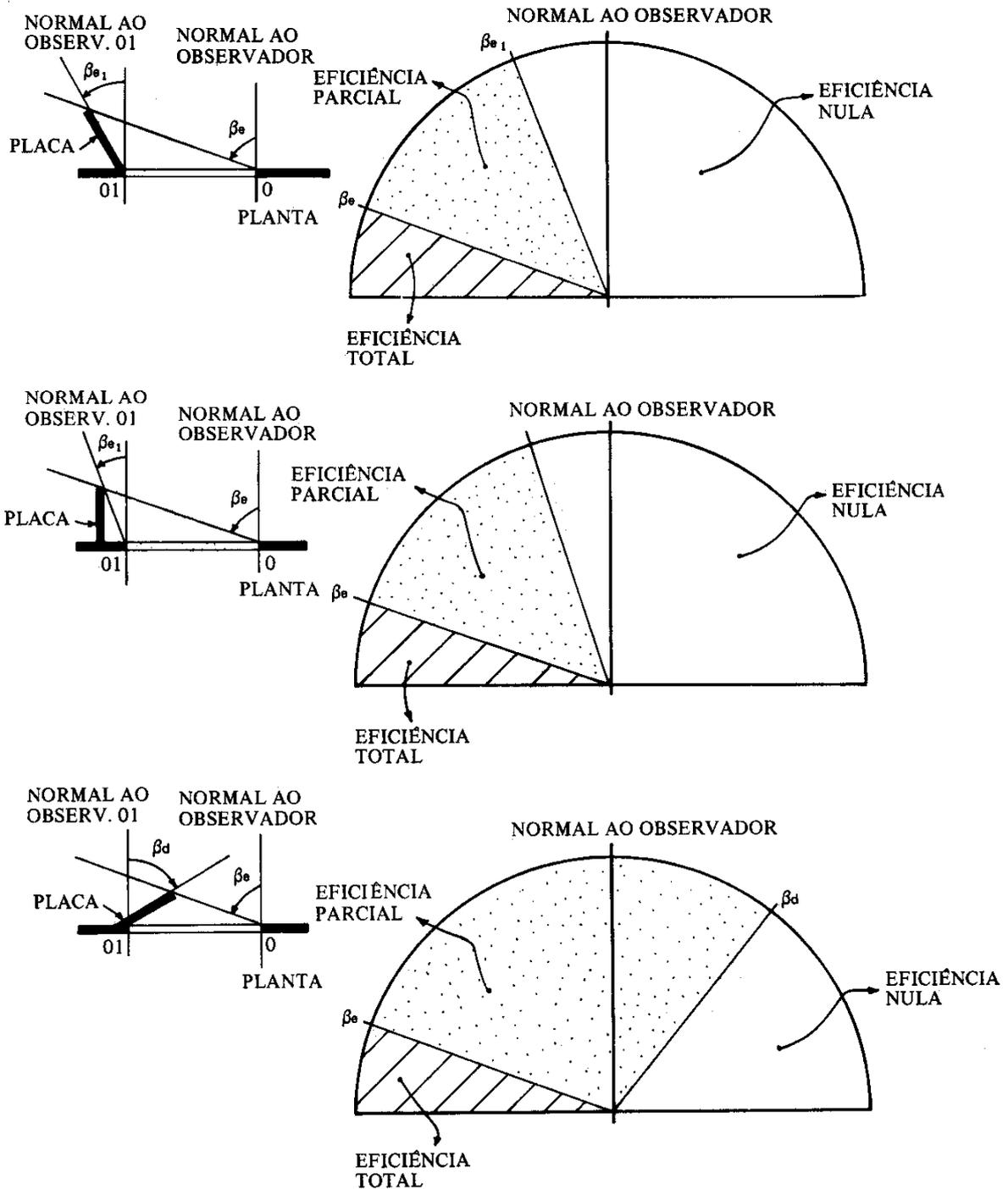


Figura 43 — Exemplos de placas infinitas com mesmo ângulo de sombra horizontal e respectivas máscaras.

4.2.7 Placas horizontais finitas

No caso real de uma placa horizontal com comprimento finito, o procedimento para determinar qual o sombreamento que ela produzirá sobre uma abertura pertencente a uma superfície vertical se baseia naquele relativo ao método do *traçado de máscaras*.

Assim, os pontos limites da placa horizontal (A e B) podem ser determinados pelos ângulos α e γ com relação ao observador situado nos extremos do peitoril respectivamente abaixo dos pontos considerados.

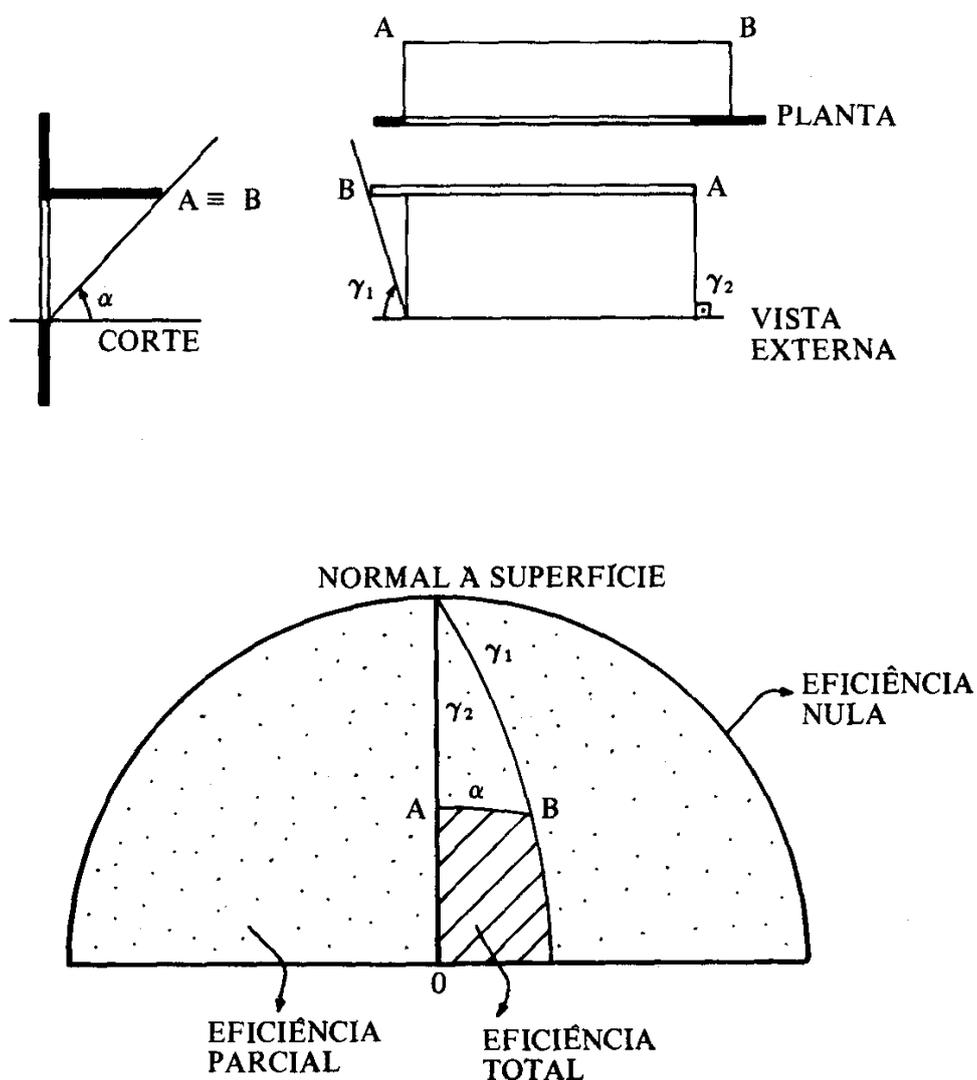


Figura 44 — Máscara produzida por uma placa horizontal finita sobre abertura em superfície vertical.

A zona de eficiência total indicada na máscara da Figura 44 representa o sombreamento produzido pela parte da placa horizontal que ultrapassa os limites da abertura. Tendo-se uma placa cuja extremidade coincide com a da abertura, a zona de eficiência total corresponderia apenas ao segmento de reta definido por \overline{OA} .

4.2.8 Placas verticais finitas

O mascaramento produzido por placas verticais de comprimento finito é determinado pelo ângulo de sombra horizontal (β) com relação a um observador localizado no lado oposto da abertura. Tendo-se apenas placas verticais, cujos limites superiores coincidem com o da abertura, a eficiência deste dispositivo só será total para o Sol na linha do horizonte, conforme Figura 45. Caso contrário, o Sol atingirá parcialmente a abertura a partir dos pontos superiores.

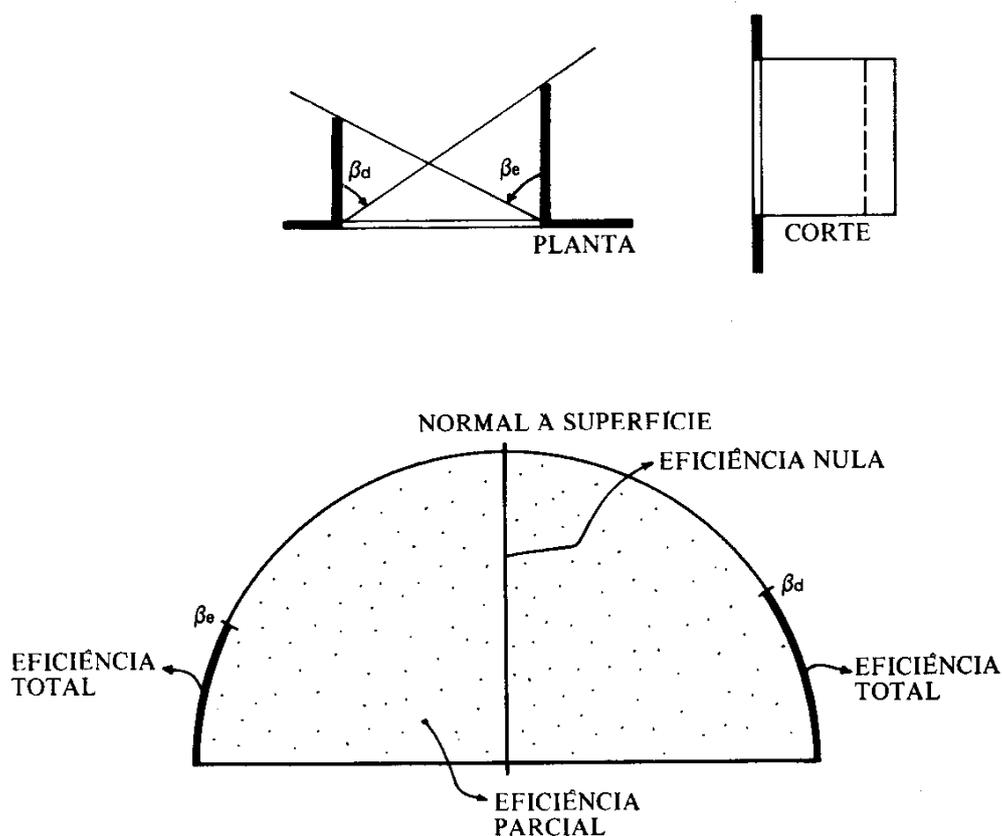


Figura 45 — Máscara produzida por uma placa vertical finita sobre abertura em superfície vertical.

4.2.9 Associação de placas horizontais e verticais

Tendo-se um dispositivo de proteção solar que seja composto por mais um tipo de placa, para determinar a máscara produzida por este dispositivo com relação a uma abertura, deve-se marcar o mascaramento de cada placa individualmente, observando-se a possível característica de infinita que cada uma das placas pode ter. É o caso do exemplo a seguir, em que a área total mascarada será a soma das áreas mascaradas pelas placas individuais.

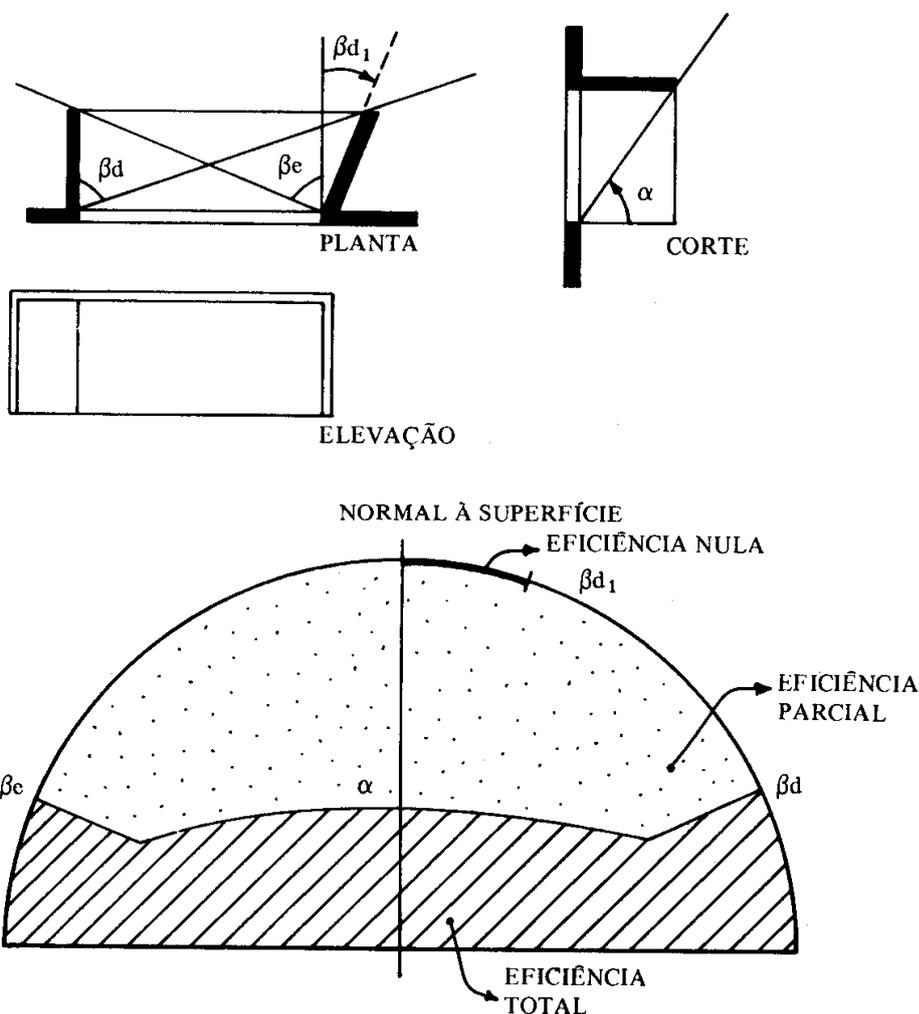


Figura 46 — Máscara produzida por dispositivo de proteção solar, composto de placas verticais e horizontais.

4.2.10 Dimensionamento de um dispositivo de proteção a partir da máscara

O caso mais freqüente, na prática, é ter-se uma abertura com uma dada orientação solar e desejar-se barrar a radiação solar direta em um determinado horário. Para tanto, desenha-se, inicialmente, a máscara desejada sobre a carta solar e a partir dela é que se dimensiona o dispositivo de proteção. Este procedimento possibilitará várias soluções distintas de dispositivos que satisfaçam as necessidades de proteção indicada, devendo-se escolher a mais conveniente para o caso em questão.

Como exemplo, tomaremos uma abertura orientada para 20° à esquerda do Norte, em latitude 24°S .

Faz-se necessário dimensionar um dispositivo de proteção solar que impeça a radiação direta com eficiência total de 22 de dezembro a 21 de março, entre 13 e 16 horas.

A região hachurada na Figura 47 é aquela que deve ser mascarada pelo dispositivo de proteção solar.

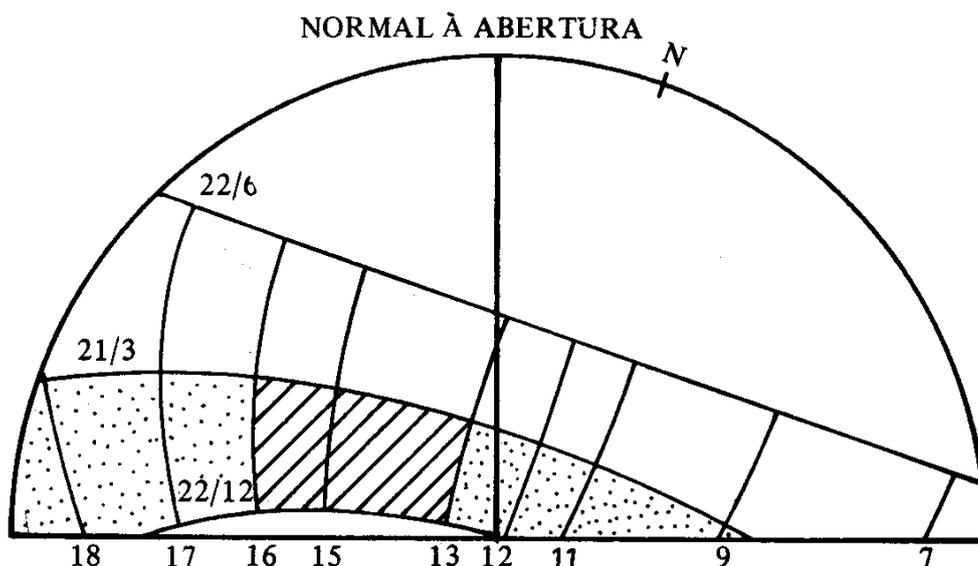


Figura 47 — Horário de insolação em uma abertura orientada 20° à esquerda do Norte, em latitude 24°S .

Sobrepõe-se esta Figura 47 ao transferidor auxiliar para escolher quais ângulos α , β ou γ irão delimitar um dispositivo solar que mascare a região do céu desejada.

Como alternativa de dispositivo de proteção solar, pode-se adotar uma placa horizontal sobre o limite superior da abertura, com aba lateral esquerda de forma retangular. Observe-se, porém, que esta alternativa, apesar de dispor da mesma área de placa, impede a penetração total de sol até o final dos dias do

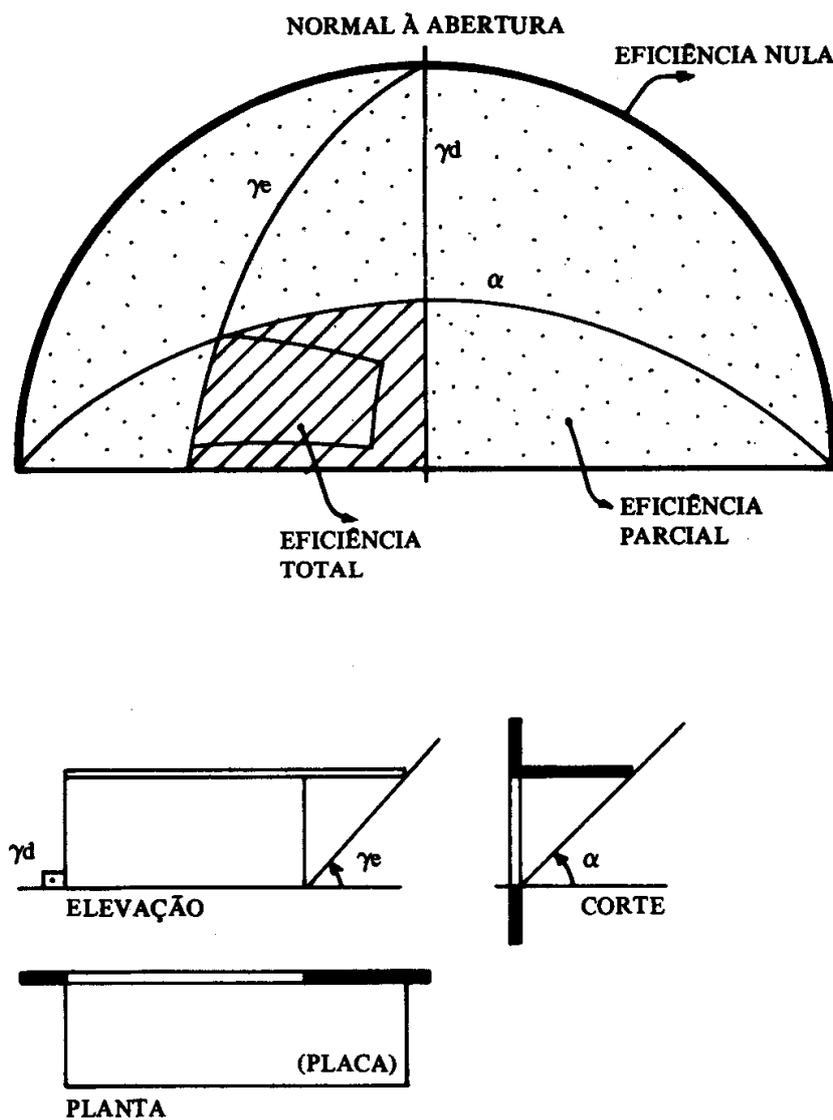


Figura 48 — Alternativa 1: placa horizontal sobre limite superior da abertura.

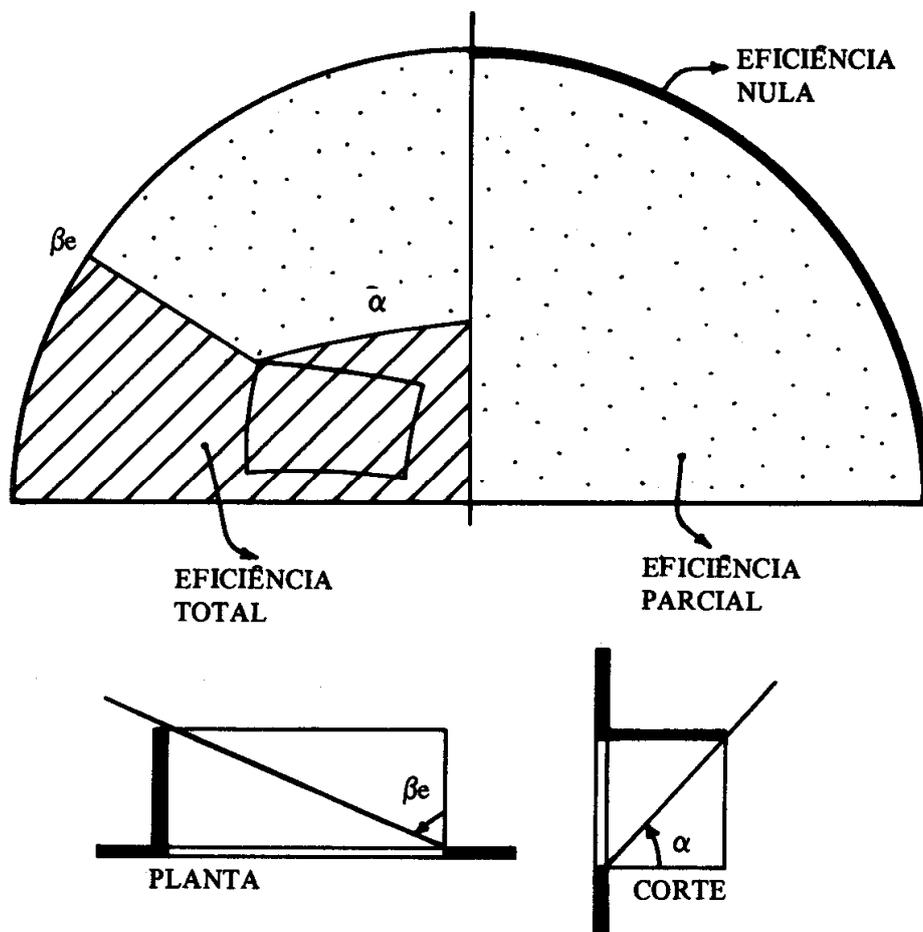


Figura 49 — Alternativa 2: associação de placa horizontal e vertical.

período considerado, o que deve ser analisado sob o ponto de vista da conveniência.

4.2.11 Máscaras produzidas por obstáculos externos às aberturas

Edificações localizadas externamente às aberturas também funcionarão como protetores da radiação solar direta. O procedimento para determinar a máscara produzida por obstáculos externos é idêntico ao desenvolvido no caso de dispositivos agregados às superfícies verticais que contêm a abertura.

Se a distância entre a abertura e o obstáculo externo for relativamente grande, pode-se considerar o observador fixo no centro da abertura.

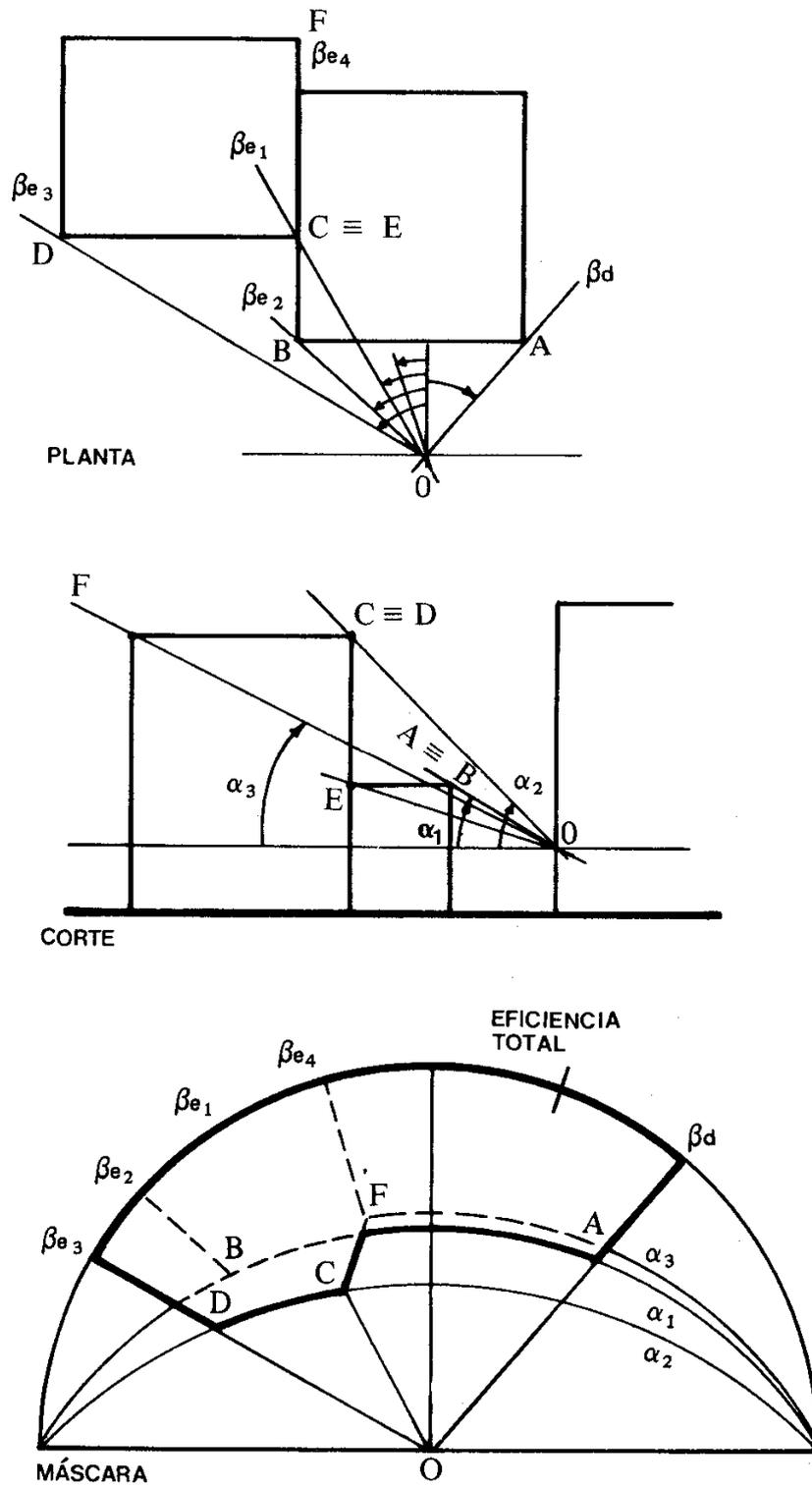


Figura 50 — Máscara produzida por obstáculos externos à abertura.

Isto se deve à pouca diferença entre os ângulos resultantes do deslocamento do observador ao longo da abertura. Equivale também a admitir que a própria abertura se confunda com um ponto, o que resulta em um mascaramento total ou nulo, não se aplicando o caso de mascaramento parcial, conforme exemplo da Figura 50.

4.3 Traçado de sombras

4.3.1 Sombras de uma haste vertical

Para a delimitação de sombra de elementos sólidos, utiliza-se o método das projeções mongeanas, da geometria descritiva. Esse método consiste em determinar a projeção de pontos e retas nos planos horizontal (PH) e vertical (PV).

Como exemplo de aplicação do método considera-se uma haste vertical com relação ao plano do horizonte do observador e uma dada direção dos raios solares. O raio solar que passa pela extremidade superior da haste delimitará a sombra desta haste no plano horizontal (PH), conforme Figura 51.

A direção da sombra será obtida marcando-se o azimute do Sol, para o horário em questão, a partir do ponto cardeal Norte, no plano horizontal. O valor do azimute lido na carta solar será idêntico ao projetado no PH, pois, por definição, o azimute é medido no plano horizontal do observador. O sentido da sombra será dado por a mais 180° , posto que a sombra se projeta no sentido contrário àquele da proveniência do Sol.

O comprimento da sombra será delimitado pela altura do Sol, no mesmo horário considerado. No entanto, o valor desse ângulo lido na carta solar não se projetará no plano vertical (PV) em verdadeira grandeza, a não ser no caso particular de o ângulo do azimute do Sol pertencer a um plano paralelo ao PV. O ângulo da altura solar (h) pertence sempre a um plano que contém a direção dos raios solares e a haste. Ao se projetar esse ângulo no plano vertical, vê-se que o ângulo h_v resultante será sempre maior que h , exceto no caso particular já destacado. Na Figura 52 tem-se que a haste, por ser vertical, se projeta em verdadeira grandeza no PV. Assim, se considerarmos os triângulos $O_2P_2P'_2$ e $O_2P_2P''_2$, ambos retângulos e com um lado idêntico, veremos que o lado $\overline{O_2P'_2}$,

por ser menor que $\overline{O_2P''_2}$, definirá, por conseqüência, um ângulo h_v maior que h , conforme Figura 53.

Para se determinar o comprimento da sombra da haste através do método de projeção mongeana deve-se, portanto, projetar no plano vertical (PV) a altura do Sol (h). Esta só se projetará em verdadeira grandeza se estiver contida em um plano paralelo ao plano vertical.

Desse modo, para se projetar o ângulo da altura solar (h) contido em um plano qualquer, não paralelo ao PV, utiliza-se o método da rotação. Esse método consiste em girar o plano vertical que contém h até torná-lo paralelo ao PV, quando então h se projetará em verdadeira grandeza.

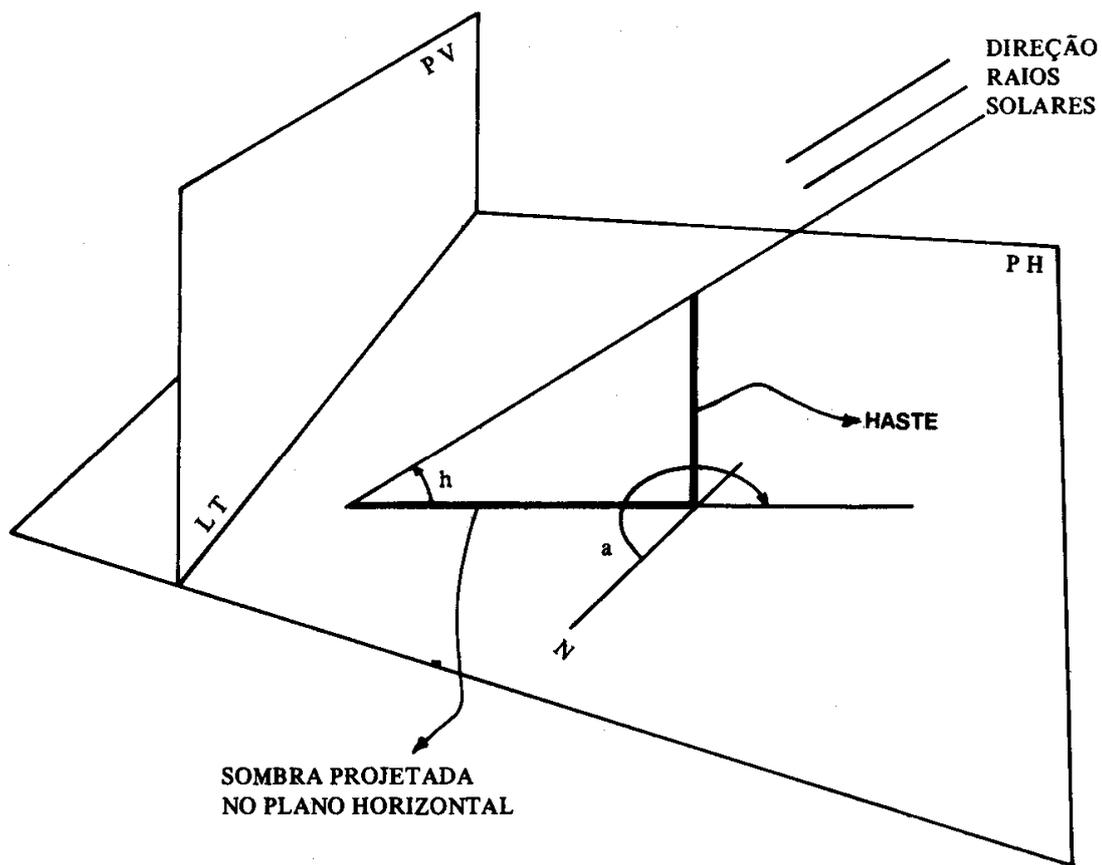


Figura 51 — Sombra de uma haste vertical sobre o plano horizontal.

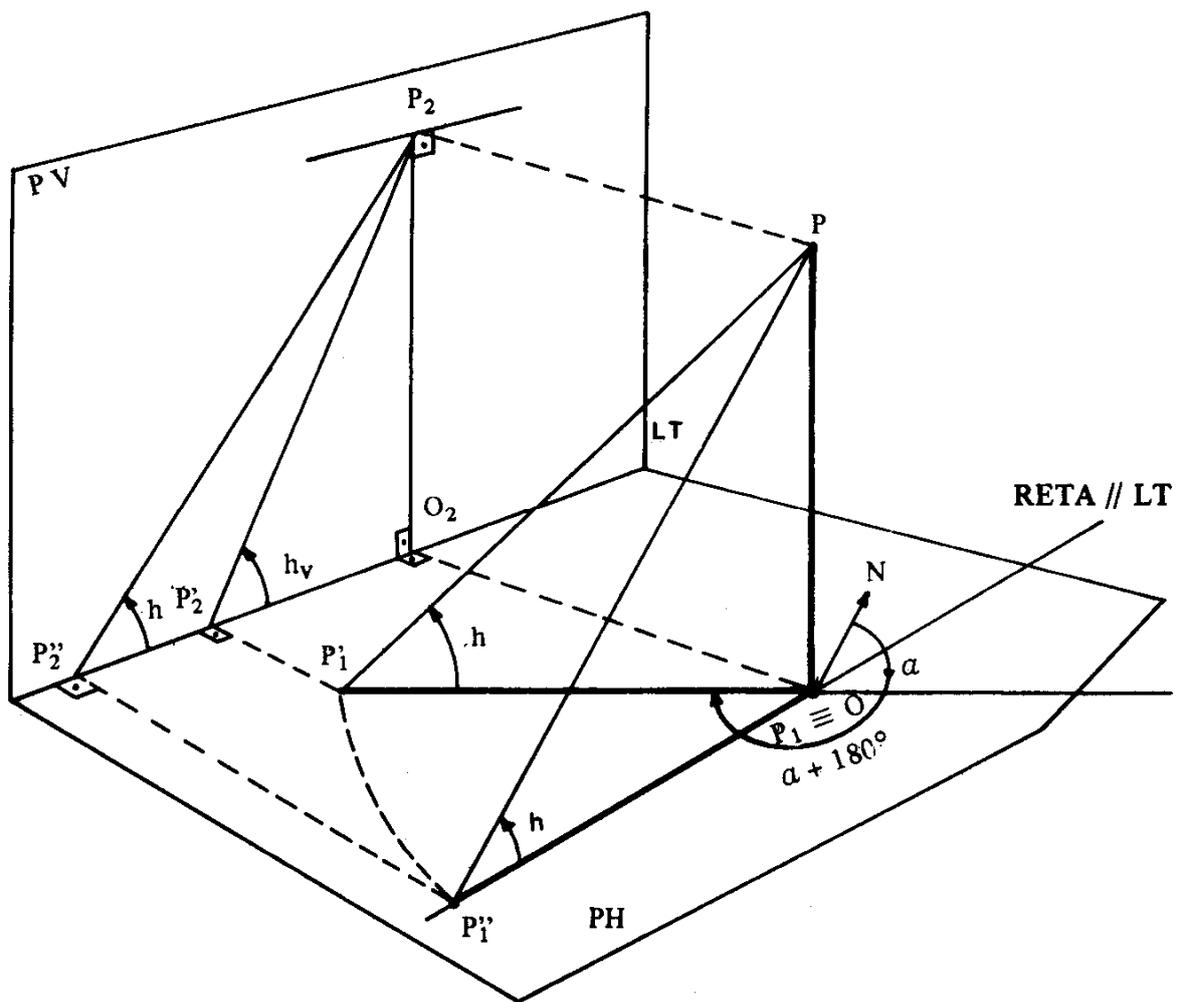


Figura 52 — Projeção mongeana de sombra de uma haste vertical.

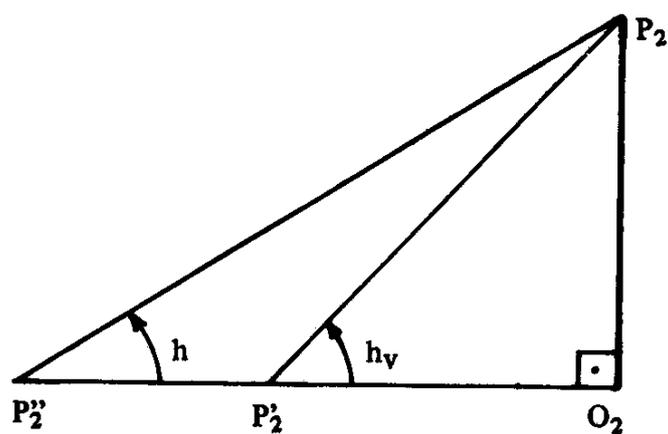


Figura 53 — Demonstração por trigonometria da relação entre ângulos h e h_v .

4.3.2 Sombra de uma haste vertical em é pura

A Figura 54 apresenta o método de projeção da sombra de uma haste vertical, em é pura, sendo que, para a aplicação em projeto, a projeção no PH corresponde à planta e a projeção no PV corresponde à elevação ou ao corte.

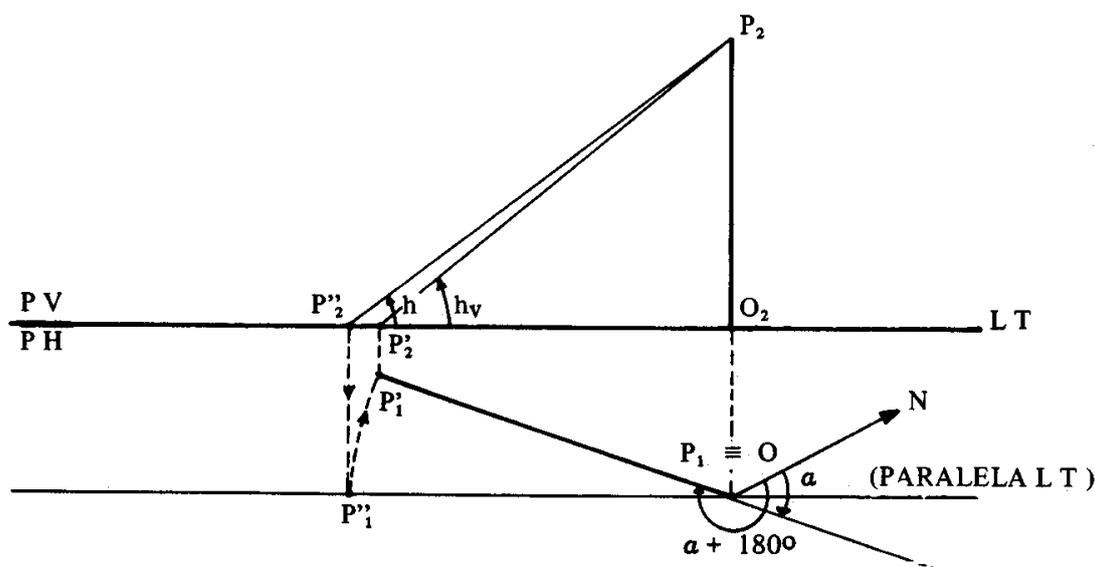


Figura 54 — Sombra de uma haste vertical em é pura.

Operacionalmente, para determinar a projeção da altura do Sol no plano vertical (h_v), deve-se marcar, passando pela base da haste (P_1), a direção do azimute do Sol (a) no plano do horizonte e uma reta auxiliar paralela a LT.

A reta paralela a LT é a intersecção de um plano paralelo ao PV que contém a altura do Sol lida na carta solar. Portanto, marcando-se a altura solar no PV, passando pela extremidade superior da haste (P_2), a intersecção com a LT será P''_2 . O segmento de reta $\overline{O_2P''_2}$ será o comprimento real da sombra. Esse comprimento pode ser transposto para a reta auxiliar paralela a LT que passa por P_1 , determinando-se P'_1 .

Por P'_1 deve-se agora fazer a rotação desta reta auxiliar até coincidi-la com a direção do azimute do Sol, no sentido da sombra projetada no PH. Nesta rotação determina-se o ponto P'_1 , que é o limite da sombra no PH.

Para projetar a altura solar (h) no PV, e obter-se h_v , basta marcar na LT o ponto P'_2 , através da sua linha de chamada, que passa por P'_1 .

O interesse em se determinar h_v está na grande simplificação de operações e na conseqüente redução de linhas para o caso de se terem várias arestas, por exemplo, de um bloco.

4.3.3 Sombra de volumes sobre o plano horizontal

Se ao invés de uma haste vertical, for preciso indicar a sombra de um bloco, sobre o plano horizontal, por exemplo, procede-se de maneira idêntica ao caso da haste. Isto significa considerar cada aresta do bloco como uma haste vertical. Lembrando-se que, para efeitos práticos, os raios de sol são paralelos, pode-se, no caso de arestas paralelas, aplicar o método para apenas uma e resolver a sombra das outras por paralelismo, conforme indicado na Figura 55.

4.3.4 Sombra de um volume sobre outro

Tendo-se, por exemplo, três blocos localizados próximos, pode-se determinar não só a sombra do conjunto no plano horizontal, como também a sombra projetada de cada um sobre os demais.

O procedimento para determinar a altura do Sol projetada no PV (h_v) é aquele indicado anteriormente. Assim, tendo-se a e h , para um determinado horário, marca-se em é pura o valor de a a partir da orientação norte do lugar e determina-se o de h_v a partir do ângulo da altura do Sol (h), lido na carta solar.

No plano vertical os raios solares se projetam com a mesma direção da reta determinada por h_v . No plano horizontal esses raios se projetam segundo a direção determinada por a .

Na Figura 56 indica-se a sombra projetada do bloco γ sobre o bloco α .

No entanto, sendo o bloco γ mais alto que o bloco α , também sombreará parcialmente a sua cobertura. Esta área sombreada, em planta, é determinada a partir de retas paralelas a $\overline{X_1Z_1}$ e $\overline{Z_1Y_1}$, pois a projeção cilíndrica ortogonal de uma reta será uma reta paralela à primeira, quando a reta e o plano de projeção forem paralelos entre si.

A sombra do bloco β sobre o bloco α encontra-se demarcada na Figura 57, que, para facilitar a compreensão, apresenta uma solução parcial do exemplo.

A partir de retas paralelas à direção de a , passando por A_1 , B_1 e C_1 , determinam-se os pontos A^*_1 , B^*_1 e C^*_1 , os quais delimitarão a sombra dos segmentos \overline{AB} e \overline{BC} sobre o bloco α . A^*_2 , B^*_2 e C^*_2 estarão, em elevação, no plano vertical, no cruzamento das respectivas linhas de chamada com a direção

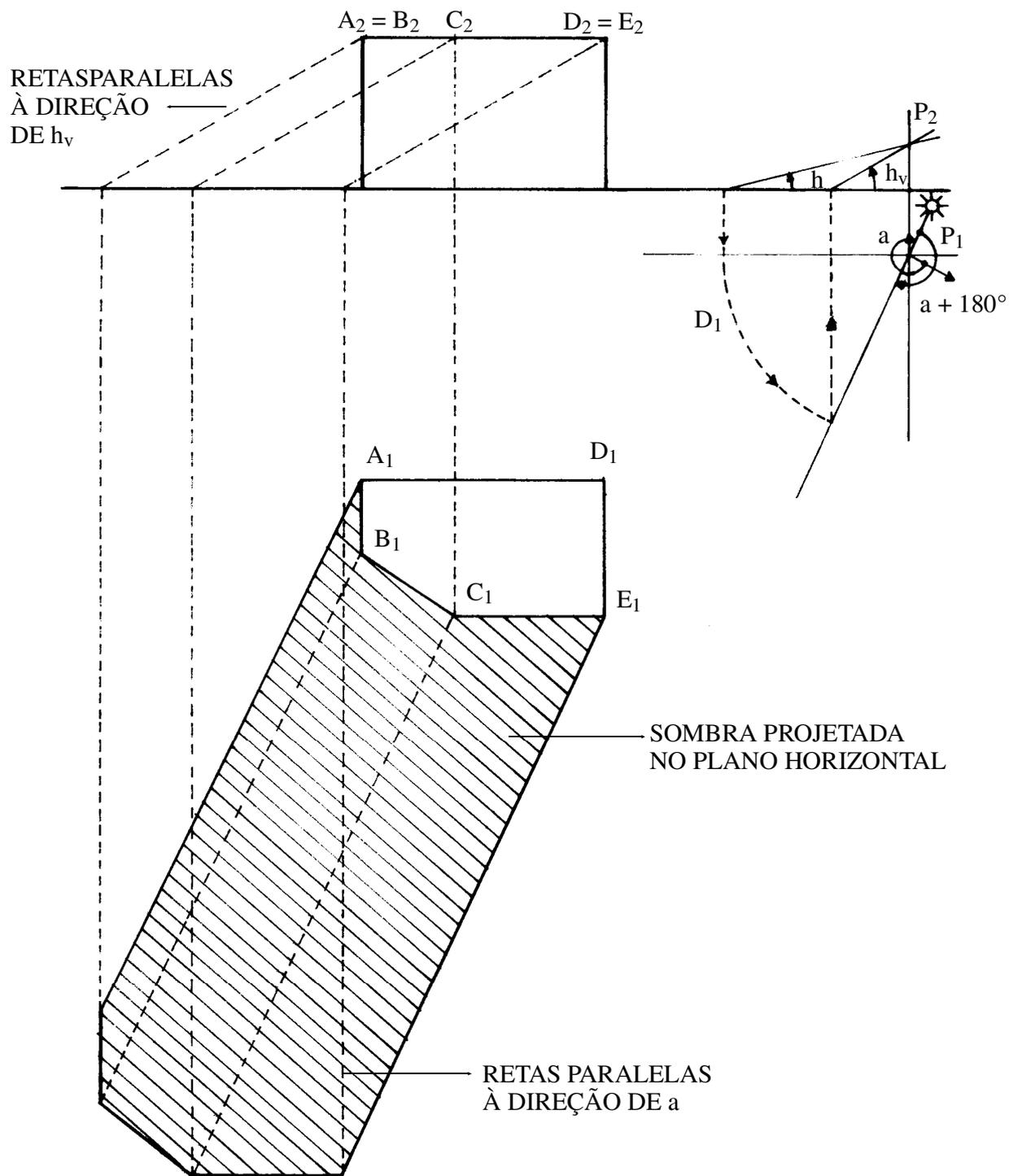


Figura 55 — Sombra de um bloco sobre o plano horizontal.

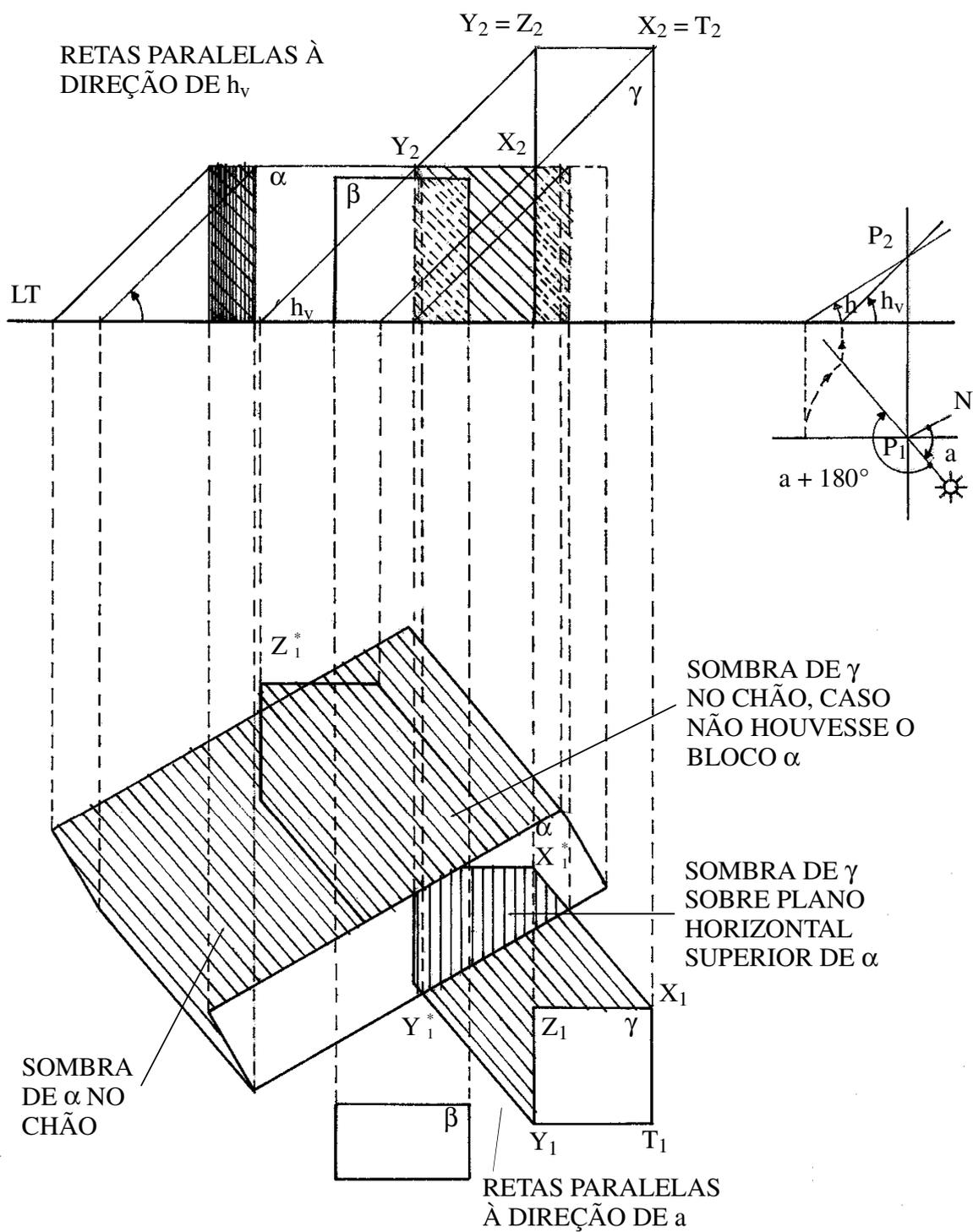


Figura 56 — Sombra do bloco γ sobre o bloco α .

dos raios solares que passam por A_2 , B_2 e C_2 . Os segmentos $\overline{A^*_2B^*_2}$ e $\overline{B^*_2C^*_2}$ se projetam como retas no PV, por serem projeção cilíndrica ortogonal dos segmentos de reta \overline{AB} e \overline{BC} . A lateral do bloco α que contém a aresta \overline{DE} estará à sombra em razão da sombra própria deste bloco.

A Figura 58 apresenta a solução global do exemplo. Em planta, o bloco β não projeta sombra sobre a cobertura do bloco α por ser mais baixo que este último.

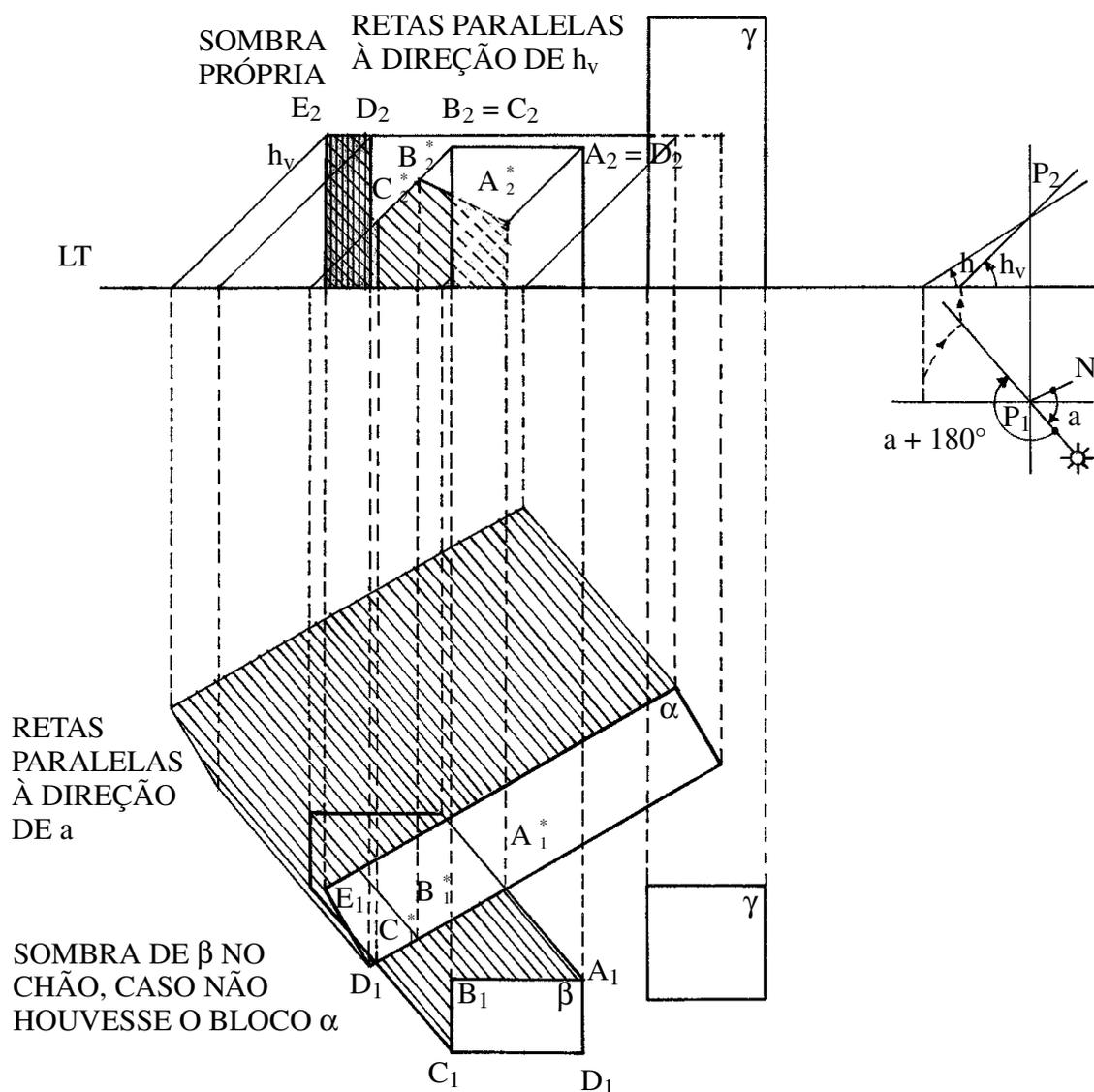


Figura 57 — Sombra do bloco β sobre o bloco α .

4.3.5 Sombra de um volume ao longo do dia

Necessitando-se saber o percurso da sombra projetada por um volume qualquer sobre um plano, ao longo do dia, será necessário repetir-se a aplicação do método indicado, para as várias horas consecutivas.

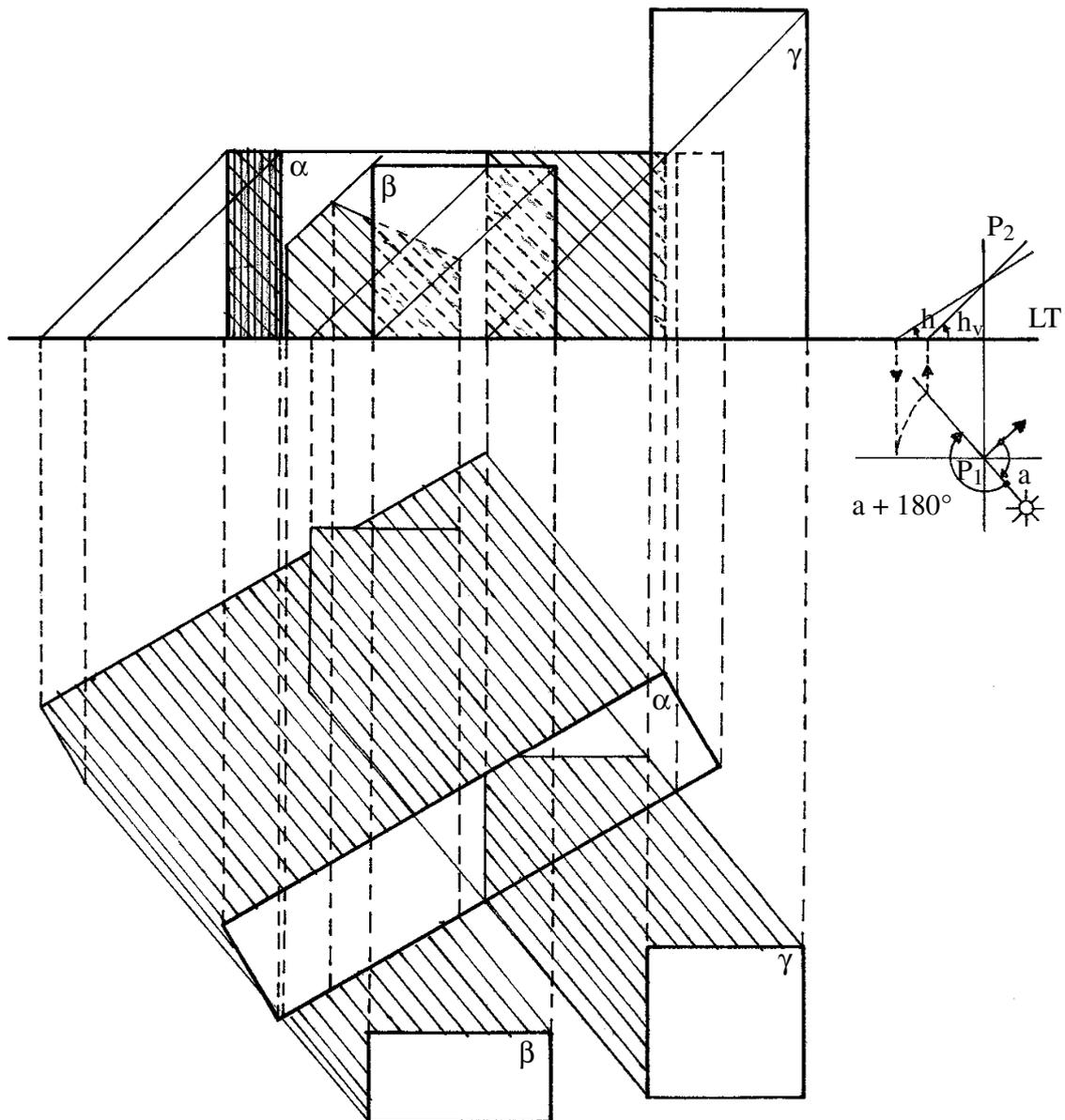


Figura 58 — Sombra projetada em plano horizontal e vertical dos blocos α , β e γ .

4.4 Penetração do Sol pelas aberturas

O Sol, ao penetrar pelas aberturas, causará uma mancha iluminada no interior do recinto. Esta área de maior luminosidade que o restante do ambiente poderá provocar ofuscamento nos ocupantes, prejudicando o desenvolvimento de certas atividades. Pode, ainda, incidir sobre equipamentos ou quaisquer objetos de maneira indesejável ou prejudicial.

4.4.1 Área ensolarada sobre o piso do recinto

Através do método das projeções mongeanas, indicado anteriormente, podem-se determinar as dimensões e a localização de área ensolarada no interior do recinto.

Considera-se como exemplo a abertura XYZT em superfície vertical e o recinto ABCDEFGH, conforme Figura 59.

A Figura 60 apresenta a abertura e o recinto da Figura 59 transpostos para é pura.

Marcam-se o azimute e a altura do Sol para o horário em estudo e determina-se projeção da altura solar no plano vertical (h_v).

O raio solar que passa por Y_2 encontrará a linha de terra no ponto Y^*_2 . Do mesmo modo, os raios que passam por Z_2 , X_2 e T_2 determinarão na linha de terra Z^*_2 , X^*_2 e T^*_2 , respectivamente.

No plano horizontal os raios que passam por X_1 , Y_1 , Z_1 e T_1 , ao interceptar as linhas de chamada de X^*_2 , Y^*_2 , Z^*_2 e T^*_2 , definirão os pontos X^*_1 , Y^*_1 , Z^*_1

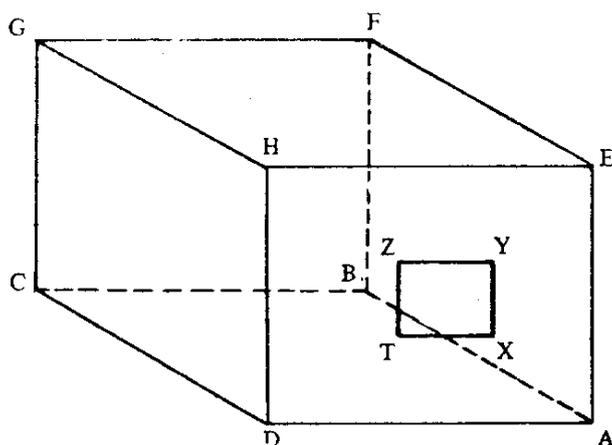


Figura 59 — Abertura vertical e respectivo recinto.

e T^*_1 . Estes pontos delimitarão, no plano horizontal do piso do recinto, a mancha ensolarada em função da abertura XYZT e do horário de insolação em questão.

No entanto, a mancha ensolarada pode não estar localizada inteiramente sobre o piso do recinto, conforme indicado no exemplo da Figura 60. Há casos onde a mancha atinge parcial ou totalmente as superfícies verticais internas.

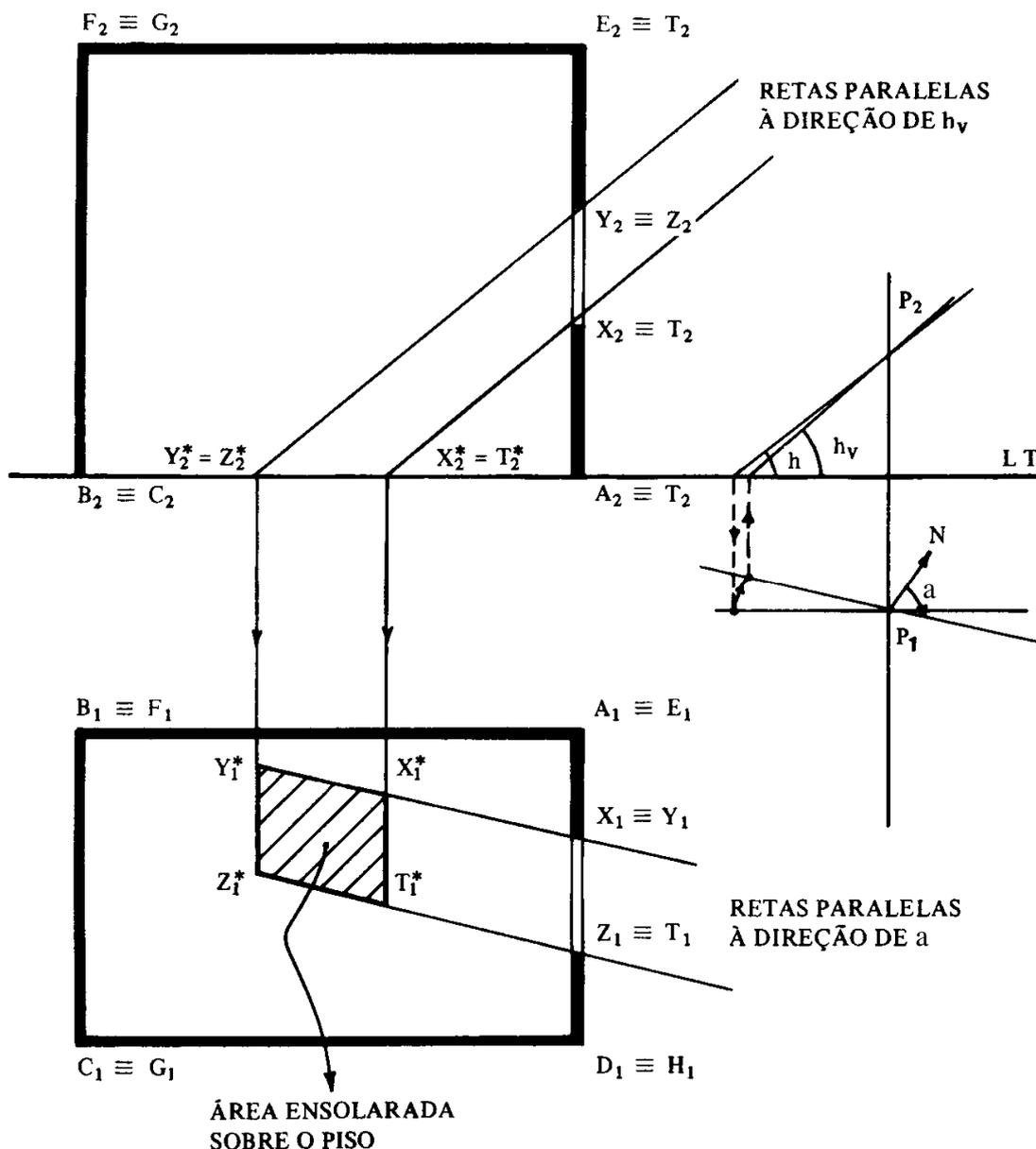


Figura 60 — Área ensolarada sobre o piso de um recinto em função da penetração do Sol pela abertura.

4.4.2 Área ensolarada sobre superfície interna paralela à abertura

Desloca-se, a título de exemplo, a superfície C'B'F'G' da Figura 59 até atingir a posição C'B'F'G'. Deste modo, parte da área ensolarada se localizará sobre esta superfície.

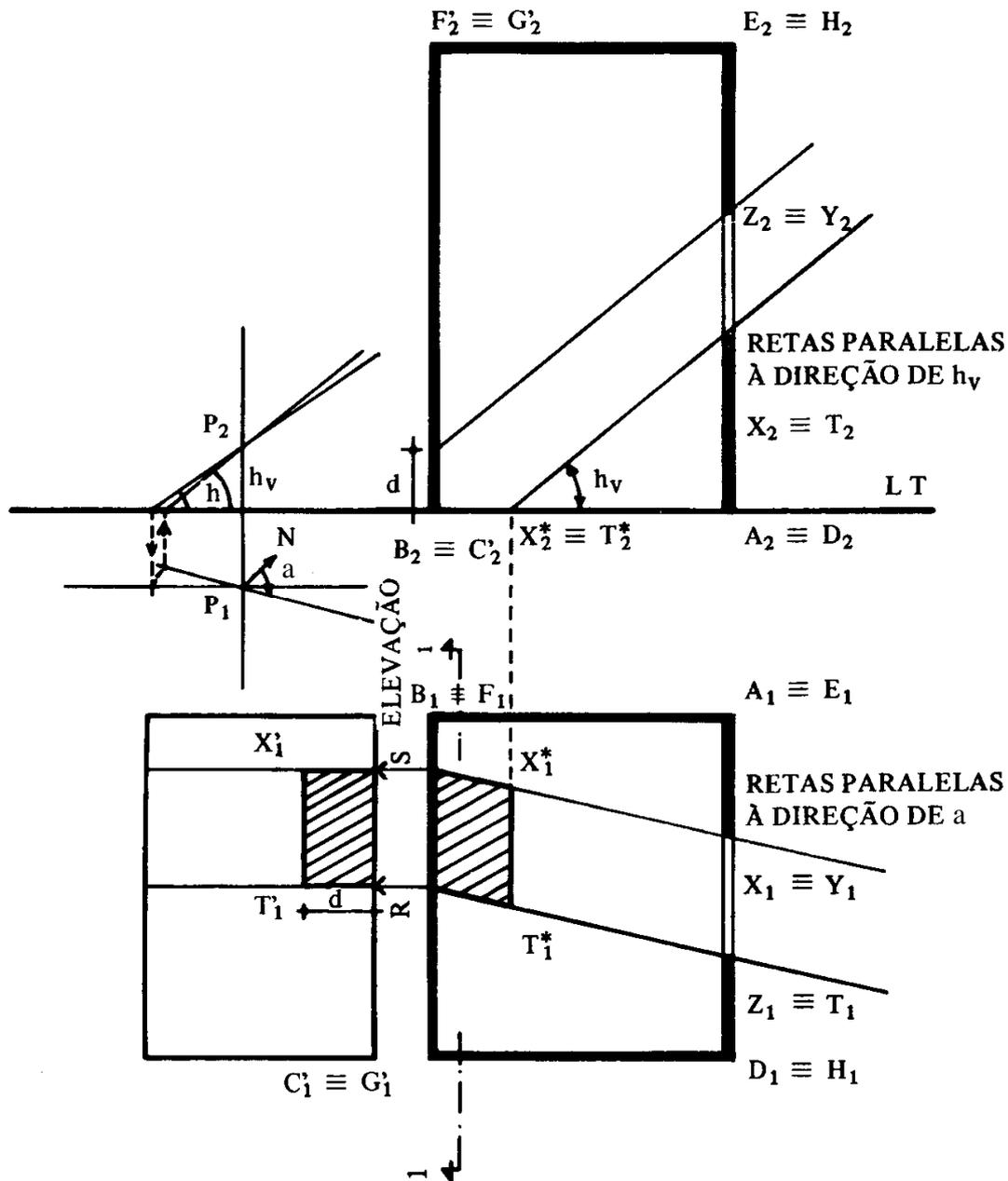


Figura 61 — Área ensolarada sobre piso e superfície paralela à abertura, em função da penetração do Sol.

Para determinar esta área na superfície vertical, faz-se uma elevação desta superfície. Os pontos R e S delimitarão a largura da área ensolarada. A altura é definida pelos raios de Sol que passam pela aresta \overline{ZY} da abertura. Basta transportar a distância d , indicada na projeção sobre o plano vertical para a elevação, conforme indicado na Figura 61.

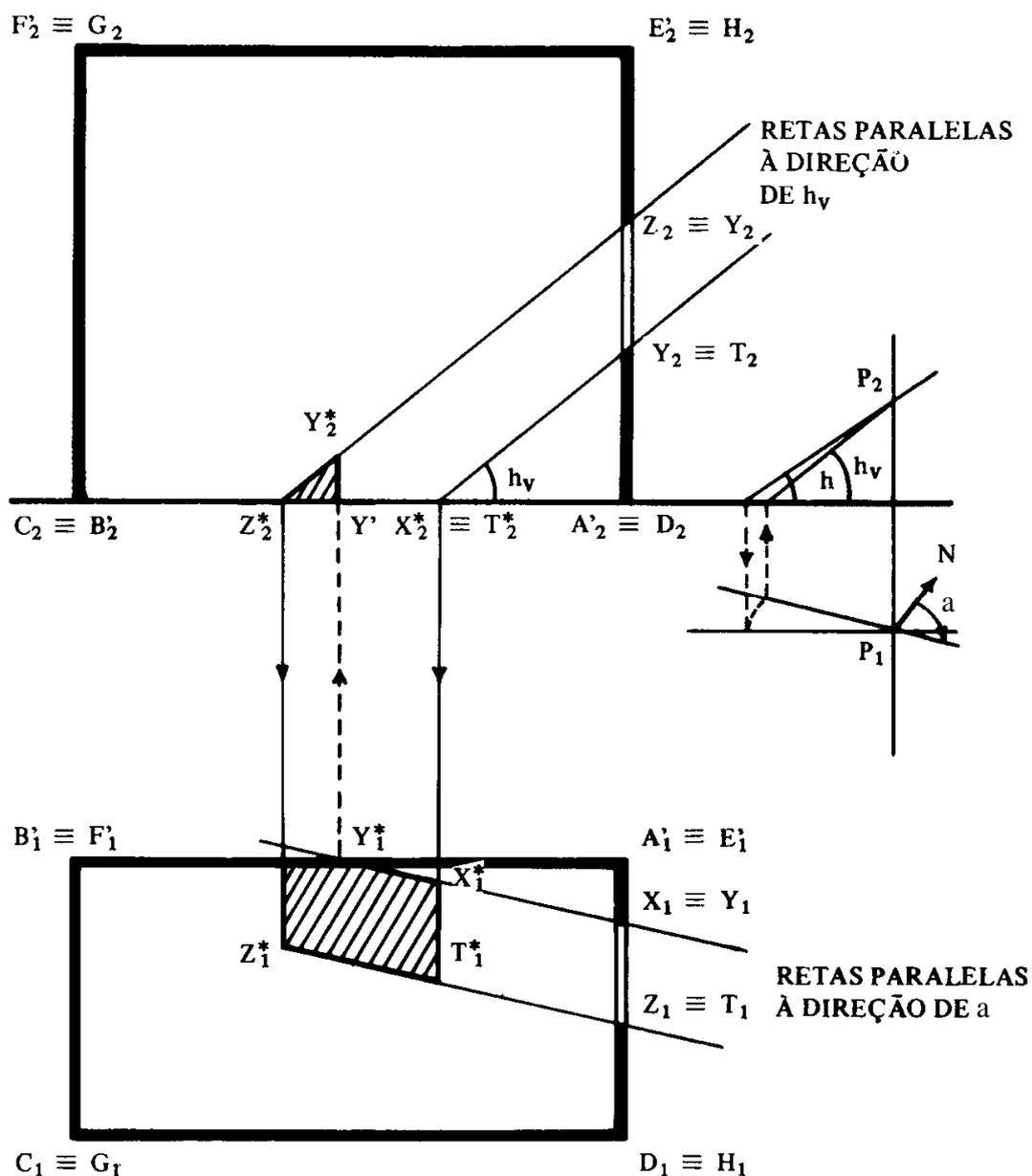


Figura 62 — Área ensolarada sobre piso e superfície perpendicular à abertura, em função da penetração do sol.

4.4.3 Área ensolarada sobre superfície interna perpendicular à abertura

Voltando-se ao exemplo da Figura 59, desloca-se agora a superfície ABEF, até atingir a posição A'B'E'F'. Neste caso, a área ensolarada definida pelo triângulo de base Z^*Y' estará localizada sobre a superfície A'B'E'F'.

A altura h do triângulo retângulo é definida pelo cruzamento da linha de chamada de Y com a direção do raio de Sol que passa por XY, conforme Figura 62.