

APÓSTILA: DIAGRAMA TERMODINÂMICO (SKEW-T)

Estágio PAE
Bolsista: Maria Cristina Lemos da Silva

Setembro/2009

1. Diagrama SKEW-T

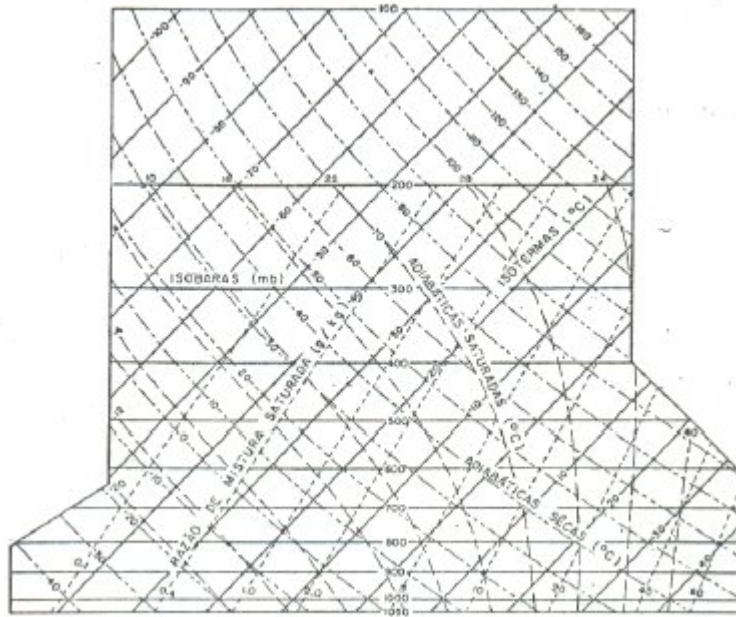


FIGURA-1 d SISTEMA DE COORDENADAS DO DIAGRAMA SKEW-T, Log P

Figura 1 – Sistema de Coordenadas do Diagrama SkewT-LogP

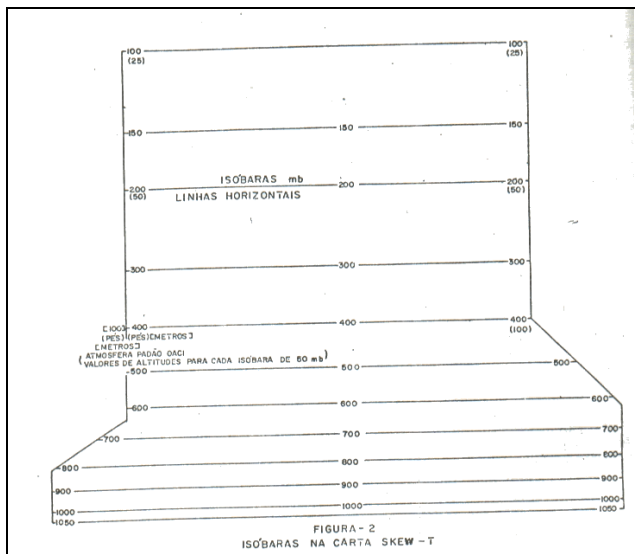


Figura 2 – Linhas das isóbaras no Diagrama SkewT-LogP

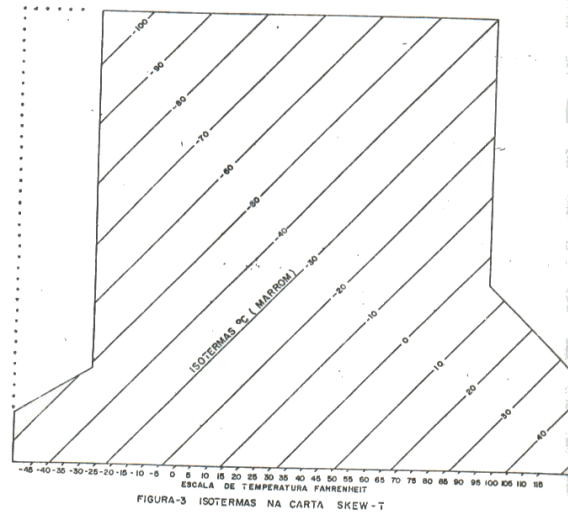


Figura 3 – Linhas das isotermas no Diagrama SkewT-LogP

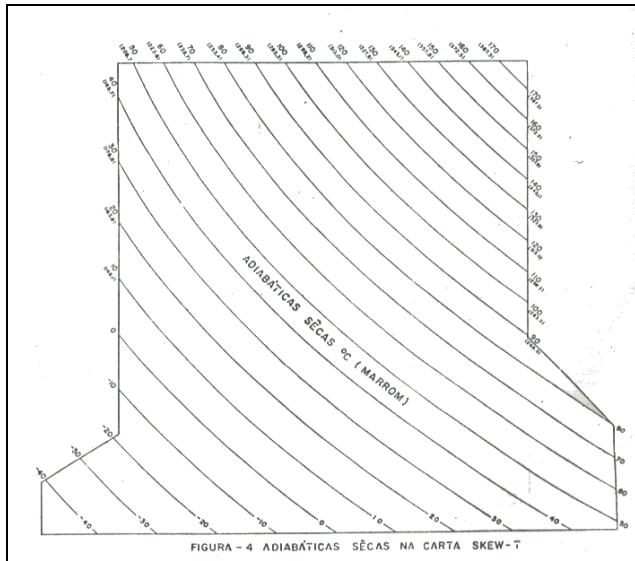


Figura 4 – Linhas das adiabáticas secas no Diagrama SkewT-LogP

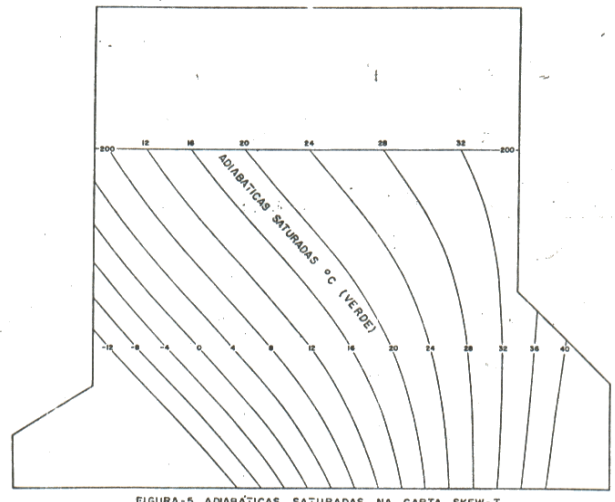


Figura 5 – Linhas das adiabáticas saturadas no Diagrama SkewT-LogP

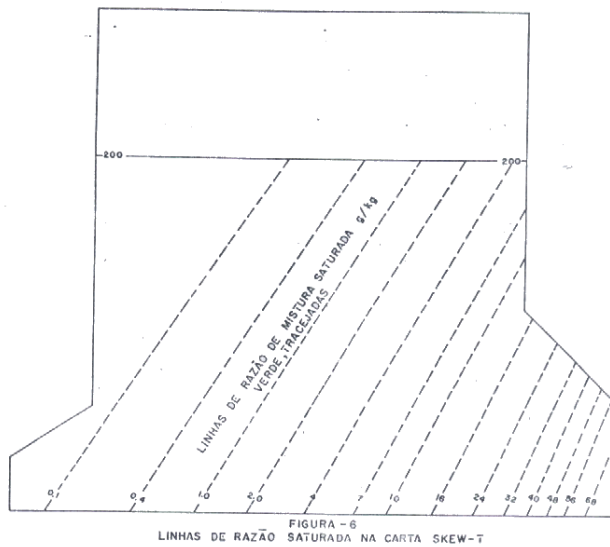


Figura 6 – Linhas da razão de mistura no Diagrama SkewT-LogP

2. Variáveis de Umidade

2.1. RAZÃO DE MISTURA (w) (g/Kg)

É a razão da massa de vapor (M_v) e massa de ar seco (M_d), i.é. $w = M_v / M_d$.

Procedimento: Para uma dada pressão, ler o valor da razão de mistura que cruza a linha da Temperatura do ponto de orvalho (T_d). Na figura 7, por exemplo, T_d em 700 hPa é -13°C , e o valor da razão de mistura é 2,0 g/Kg.

2.2. RAZÃO DE MISTURA SATURADA (w_s) (g/Kg)

É a razão de mistura que uma amostra de ar teria se estivesse saturada.

Procedimento: Para uma dada pressão, ler o valor da razão de mistura que cruza a linha de T. Na figura 7, por exemplo, T em 700 hPa é -5°C , e o valor da razão de mistura de saturação é 3,8 g/Kg.

2.3. PRESSÃO DE VAPOR (e) (hPa)

É a parte da pressão atmosférica exercida pelo vapor d'água.

Procedimento: Para uma dada pressão, parte de Td paralelo as isotermas até 622 hPa e lê o valor de razão de mistura saturada que passa por este ponto em 622 hPa, este valor na unidade de hPa é a pressão do vapor. Na figura 8, o valor de e corresponde a 2,3 hPa.

2.4. PRESSÃO DE VAPOR DE SATURAÇÃO (e_s) (hPa)

É a parte da pressão atmosférica exercida pelo vapor d'água se o ar estivesse saturado.

Procedimento: Para uma dada pressão, parte de T paralelo as isotermas até 622 hPa e lê o valor de razão de mistura saturada que passa por este ponto em 622 hPa, este valor na unidade de hPa é a pressão do vapor. Na figura 8, o valor de e_s corresponde a 4,2 hPa.

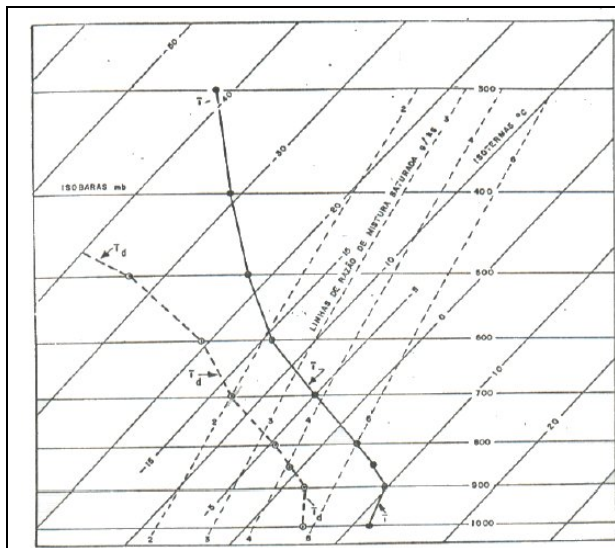


FIGURA-10 PARTE DE UMA SONDAGEM NA CARTA SKEW-T

Figura 7 – Determinação w e w_s através do Diagrama SkewT-LogP

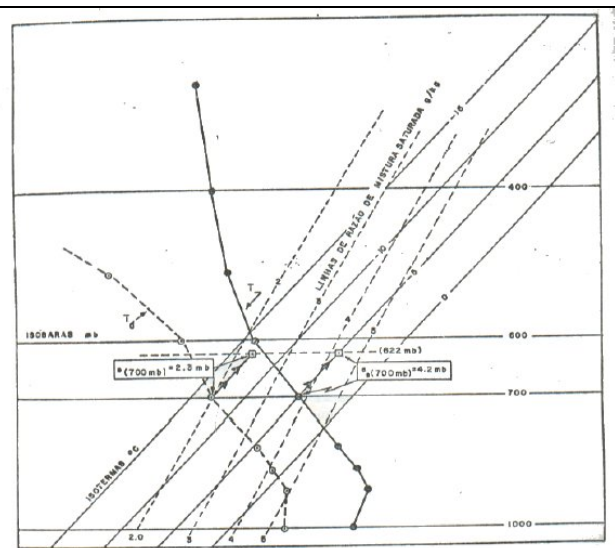


FIGURA-12 DETERMINAÇÃO DE PRESSÃO DE VAPOR (e) E DA PRESSÃO DE VAPOR SATURADO (e_s).

Figura 8 – Determinação e e e_s através do Diagrama SkewT-LogP

2.5. UMIDADE RELATIVA (UR) (%)

É a razão, em porcentagem, da quantidade de vapor d'água em um dado volume de ar, para a quantidade que este volume poderia conter se o ar estivesse saturado.

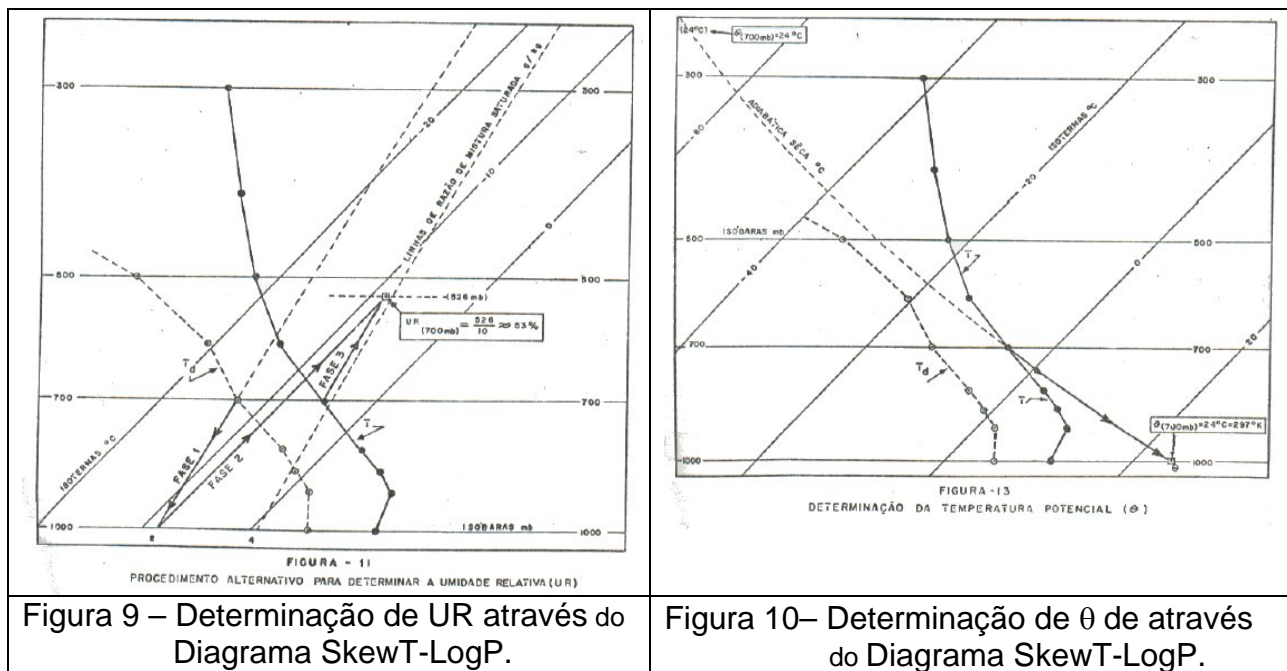
Indiretamente, é uma medida da capacidade de evaporação do volume de ar e do seu nível de saturação. $UR = w / w_s * 100$ ou $e / e_s * 100$. Por exemplo, na figura 8, a umidade relativa em 700 hPa corresponde a: $UR = (2,0/3,8) * 100 = 53\%$

Procedimento Alternativo: Existe um procedimento, apresentado na figura 9, que determina graficamente a UR no diagrama SKEW-T. Fase 1: Da curva Td, na pressão dada, siga a linha de razão d emistura até a isóbara de 1000 hPa; Fase 2: Desta intersecção trace uma linha paralela às isotermas; Fase 3: Da cura T, na pressão dada, siga paralelamente a razão de mistura até a intersecção com alinhia da Fase 2. O valor numérico da isóbara neste nível, dividido por 10, corresponde a UR na pressão dada.

2.6. TEMPERATURA POTENCIAL (θ) (K)

E a temperatura que uma amostra de ar teria se fosse trazida adiabaticamente seca à pressão de 1000 hPa.

Procedimento: Para uma dada pressão, da curva de T segue pela adiábática seca até o nível de 1000. O valor da isoterma neste ponto é igual a temperatura potencial da parcela em °C. Normalmente o θ é expresso em K, portanto soma-se 273. Por exemplo, na figura10, o valor de θ em 700 hPa é 297K.



2.7. TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (T_w) (°C)

Para uma dada pressão é a mais baixa temperatura a qual um volume de ar pode ser resfriado por evaporação de água do seu interior. Considerando que o calor requerido para a evaporação seja retirado do próprio ar.

Procedimento: Fase 1: Para uma dada pressão, da curva de Td ascende ao longo de uma razão de mistura; Fase 2: Da curva de T ascende ao longo de uma adiábática

seca. Onde elas se encontrarem é o nível de condensação por levantamento forçado; *Fase 3*: Da intersecção desce por uma adiábática saturada até o nível de pressão inicial. O valor da isoterma nesta pressão é igual a T_w . Na figura 11, o valor de T_w em 700 hPa é -8°C .

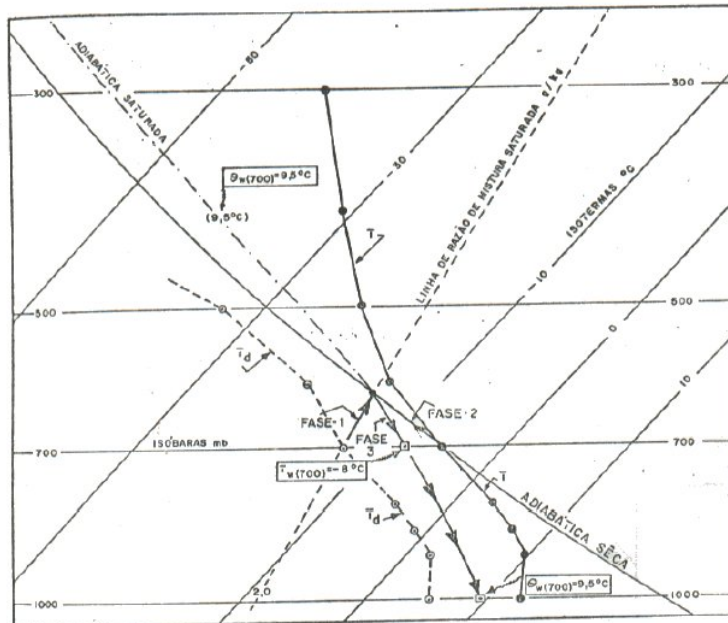


FIGURA-14
DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO (T_w)
E DA TEMPERATURA POTENCIAL DO BULBO ÚMIDO (θ_w)

Figura 11 – Determinação de T_w e θ_w de através do Diagrama SkewT-LogP.

2.8. TEMPERATURA POTENCIAL DO BULBO ÚMIDO (θ_w) (K)

É temperatura potencial do bulbo úmido que uma amostra de ar teria se fosse trazida adiabaticamente saturada à pressão de 1000hPa.

Procedimento: Segue procedimento da temperatura do bulbo úmido e continua descendo pela adiábática saturada até o nível de 1000 hPa. Na figura 11, o valor de θ_w em 700 hPa é $-9,5^\circ\text{C}$.

2.9. TEMPERATURA EQUIVALENTE (T_e) ($^\circ\text{C}$)

É a temperatura que uma amostra teria se toda sua umidade fosse condensada por um processo pseudo-adiabático, e esta amostra então trazida adiabaticamente seca á sua pressão original. As vezes denominada de Temperatura Equivalente Adiabática.

Procedimento: *Fase 1*: Para uma dada pressão, da curva de T_d ascende ao longo de uma razão de mistura. Da curva de T ascende ao longo de uma adiábática seca. Onde elas se encontrarem é o nível de condensação por levantamento forçado; *Fase 2*: Da intersecção suba por uma adiábática saturada até a pressão na qual a adiábática saturada e a seca estejam paralelas; *Fase 3*: Desta pressão retome pela adiábática seca até o nível de pressão inicial e leia o valor da isoterma. Através da figura 12, o valor de T_e em 700 hPa é $-0,5^\circ\text{C}$.

2.10. TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE (θ_e) (K)

É o valor da temperatura equivalente conduzida ao nível de 1000 hPa.

Procedimento: Determine a temperatura equivalente e continue acompanhando a adiabática seca até o nível de 1000 hPa. Leia o valor da isoterma neste ponto. Normalmente apresentada em K. Através da figura 12, o valor de θ_e em 700 hPa é 303K.

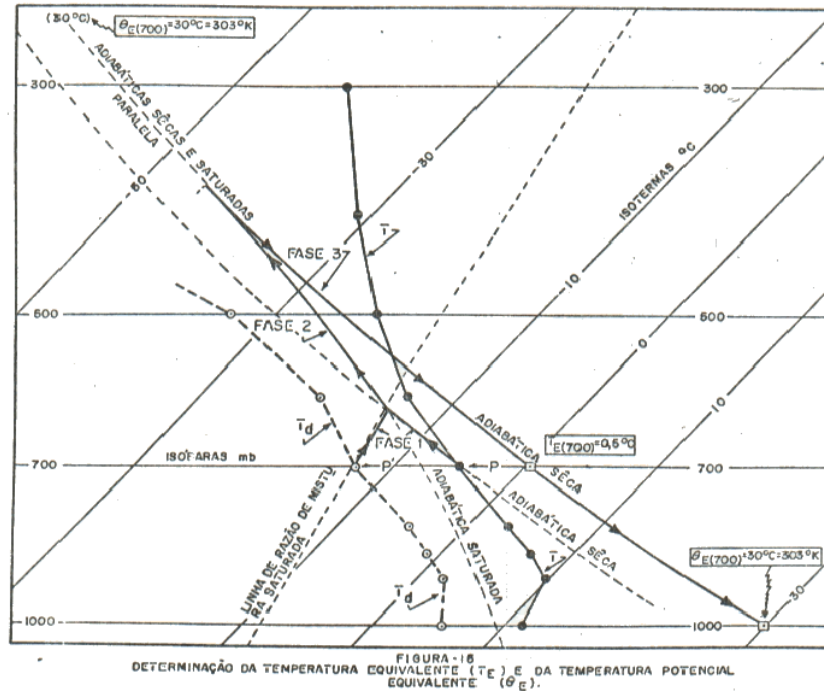


Figura 12 – Determinação de T_e e θ_e de através do Diagrama SkewT-LogP.

2.11. TEMPERATURA VIRTUAL (T_v) (°C)

Temperatura na qual o ar seco, sob mesma pressão, considerando a densidade do ar úmido

Procedimento: Para uma dada pressão, a diferença entre as temperaturas observada e a virtual é aproximadamente igual a 1/6 da razão de mistura saturada que passa através da curva de T_d . Para trabalhos detalhados:

$$T_v = T (1 + 0,6 W),$$

onde T é dado em K e W em g/g. A figura 13 mostra a determinação de T_v a partir do diagrama termodinâmico.

3. Níveis de Condensação

3.1. Nível de Condensação Convectivo (NCC)

É a altura da base das nuvens cumuliformes. Altura na qual uma parcela de ar, aquecida por baixo, ascenderá adiabaticamente até se tornar saturada.

Procedimento: A partir de T_d à superfície, siga uma linha ascendente ao longo de w ; O nível onde esta linha encontrar a curva de T é o NCC. A figura 14 mostra a determinação do NCC a partir do diagrama Skew-T.

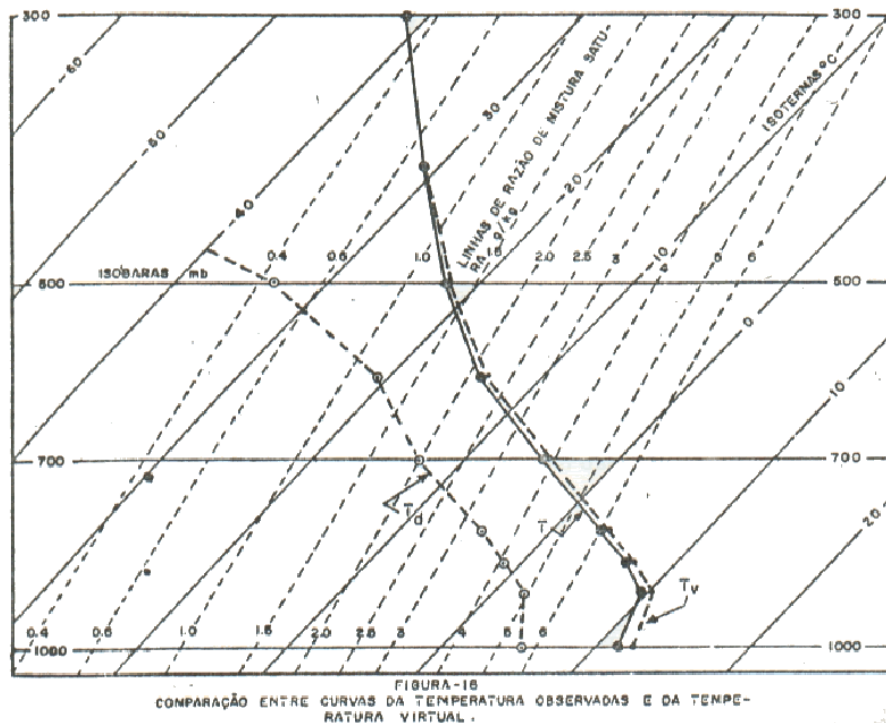


Figura 13 – Determinação de T_v de através do Diagrama SkewT-LogP.

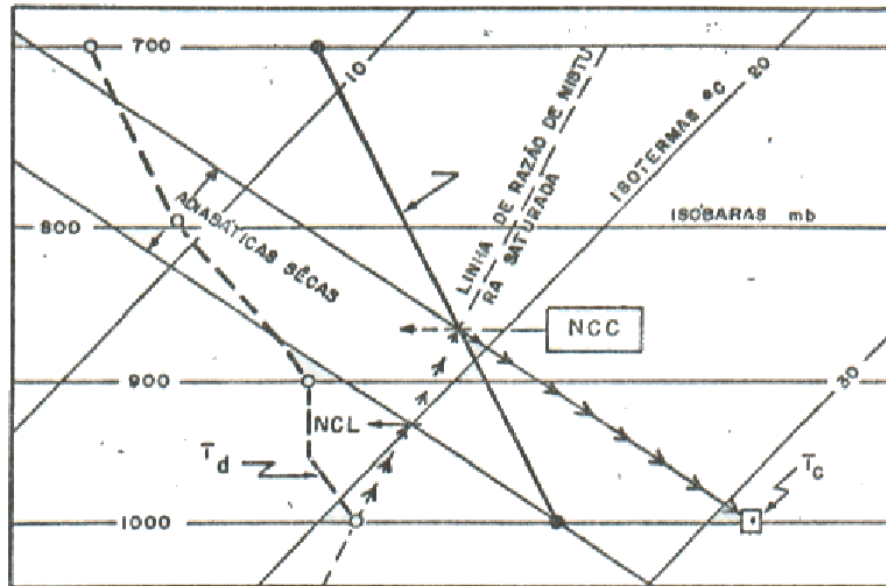


FIGURA-19
 PROCEDIMENTO PARA LOCALIZAR O NÍVEL DE CONDENSACÃO CONVETIVA, A TEMPERATURA DE CONVECÇÃO, E O NÍVEL DE CONDENSACÃO POR LEVANTAMENTO.

Figura 14 – Determinação do NCC, NCL e Tc a partir do Diagrama SkewT-LogP.

3.2. Temperatura de Convecção (Tc) (°C)

É a temperatura à superfície que deve ser alcançada para se iniciar a formação de nuvens convectivas.

Procedimento: A partir do NCC, descer pela adiábata saturada até à superfície. Tc é a temperatura nesta intersecção. A figura 14 mostra a determinação de Tc a partir do diagrama Skew-T.

3.3. Nível de Condensação por Levantamento (NCL)

Altura da base das nuvens. Altura na qual uma parcela de ar se torna saturada quando é levantada adiabaticamente

Procedimento: Encontra-se na intersecção da linha de w_s que passa por Td, com a adiábata seca que passa por T à superfície. A figura 14 mostra a determinação do NCL a partir do diagrama Skew-T.

3.4. Nível de Condensação Espontânea (NCE)

Altura na qual uma parcela de ar é elevada adiabaticamente (seca) até a saturação e, com a saturação, torna-se mais quente (menos densa) que o meio.

Procedimento: Nível onde a saturação adiabática através de Tw intercepta a linha de T em um nível mais alto. A figura 16 mostra a determinação do NCE a partir do diagrama Skew-T

3.5. Nível de Equilíbrio (NE)

Altura em que a temperatura da parcela (em flutuação) torna-se (novamente) igual a temperatura do meio.

Procedimento: Determine a Área positiva de acordo com o procedimento apropriado. O NE encontra-se no topo da área positiva. As figuras 15 e 16 mostram a determinação do NE a partir do diagrama Skew-T.

4. Cálculo da Energia no Diagrama

Em um diagrama termodinâmico, uma respectiva área pode ser considerada proporcional a uma determinada quantidade de energia cinética de uma parcela de ar, que se desloque vertical e adiabaticamente. As energias envolvidas no processo podem ser computadas por meio das seguintes relações:

- a) um centímetro quadrado do diagrama corresponde a $0,280 \times 10^6$ ergs, ou 0,0280 joules, por grama de ar na atmosfera;
- b) uma polegada quadrada corresponde a $1,808 \times 10^6$ ergs, ou 0,1808 joules, por grama de ar na atmosfera.

4.1. Áreas Negativas

Quando parcela de ar encontra-se em uma camada Estável. Temperatura da parcela MENOR que o meio. Para se deslocar é necessário que ela RECEBA energia. O sinal de menos (-) indica as regiões com áreas negativas no diagrama termodinâmico (Figura 15).

4.2. Áreas Positivas

Quando parcela de ar pode se elevar livremente na camada. Temperatura da parcela MAIOR que o meio. No deslocamento a parcela FORNECE energia ao meio. O sinal de mais (+) indica as regiões com áreas positivas no diagrama termodinâmico (Figura 15). Áreas positivas e negativas não são obrigatoriamente definidas em qualquer sondagem. Dependem da parcela escolhida e se o movimento vertical de tal parcela é resultante de dois fatores. O primeiro devido ao **Aquecimento** (insolação à superfície, liberação de calor latente, etc..). E o segundo devido a **Ascensão Forçada** (convergência, frontal, orografia, etc..).

Procedimento para o caso de Aquecimento da Parcela à superfície: A sondagem é plotada e determinado o NCC. É construída uma adiabática saturada para cima até o ponto onde esta curva intercepta a sondagem novamente, ou seja, atingindo o NE. A partir do NCC tahPaém é construída uma adiabática seca (para baixo) até a sua intersecção com a isóbara de pressão à superfície. As áreas positivas e negativas são então indicadas e/ou coloridas como na figura 15. Importante ressaltar que muitas sondagens não têm área negativa inferior (somente uma área positiva), o que ocorre quando as camadas inferiores já são adiabáticas. Observe tahPaém que muitas sondagens apresentam apenas uma profunda área negativa sem qualquer área positiva (quando o NCC é extremamente alto). As áreas determinadas pelo processo acima são

indicativas de condições considerando-se que a temperatura a superfície não sobe após o NCC ter sido alcançado — se a temperatura a, superfície subir após, então logo se vê que as áreas se modificam de algum modo devido a base da nuvem se elevar e a umidade à superfície diminuir.

Procedimento para o Caso de Ascensão Forçada da Parcela a Superfície: Nesta circunstancia, as parcelas à superfície são elevadas por algum processo mecânico, tal como levantamento orográfico, frontal ou convergência. O primeiro passo é a determinação, pela sondagem plotada, do NCL para a parcela a superfície. Então, do NCL trace, uma linha ascendente, paralela a adiabática saturada mais próxima (isto é, construa a adiabática saturada através do NCL) até ao NE. Um exemplo é apresentado na figura 16. O ponto no qual esta linha intercepta primeiro a curva T da sondagem é o NCE. A área negativa fica abaixo do NCE, limitada a direita pela curva da sondagem, na base pelo ponto à superfície, e a esquerda pela adiabática seca do ponto à superfície até o NCL e pela adiabática saturada do NCL até o NCE. Esta **área negativa representa a energia que o mecanismo de elevação deve suprir à parcela** à superfície, para elevá-la até ao NCE. A área positiva é a área acima do NCE, limitada à esquerda pela curva da sondagem, à direita pela adiabática saturada que passa através do NCE, e termina no topo pelo NE. Esta **área positiva representa a energia recebida pela parcela** levantada após ascender acima do NCE. Existe também uma área negativa superior acima do NE.

Procedimento para o Caso em que uma Parcela do Nível Superior é Forçada a se Elevar: No caso em que o analista deseje determinar as áreas negativa e positiva, que resultarão quando uma parcela de ar, inicialmente a um determinado nível superior, é elevada por um mecanismo tal, como deslizamento frontal, convergência no nível superior, etc., o procedimento é exatamente análogo ao procedimento usado para o caso da parcela à superfície. Isto é, primeiro determine o NCL para a parcela em questão, depois construa a adiabática saturada para cima, passando através do NCL, do NCE, assim como do NE. A área negativa, representando a energia que deve ser suprida à parcela para que possa ascender ao seu NCE, é a área abaixo do NCE, limitada pela curva da sondagem a direita, e pelas adiabáticas seca e saturada à esquerda. A área positiva, representando a energia recebida pela parcela após ultrapassar o NCE, é a área acima do NCE, limitada pela curva da sondagem a esquerda, e pela adiabática saturada que passa pelo NCE, a direita, e terminando no NE.

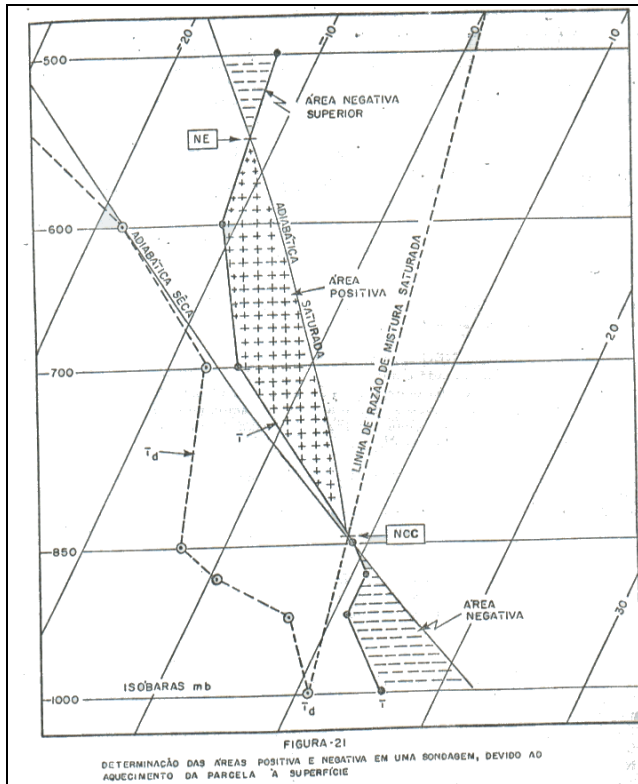


Figura 15 – Determinação das áreas positivas e negativas em uma sondagem, devido ao aquecimento à superfície.

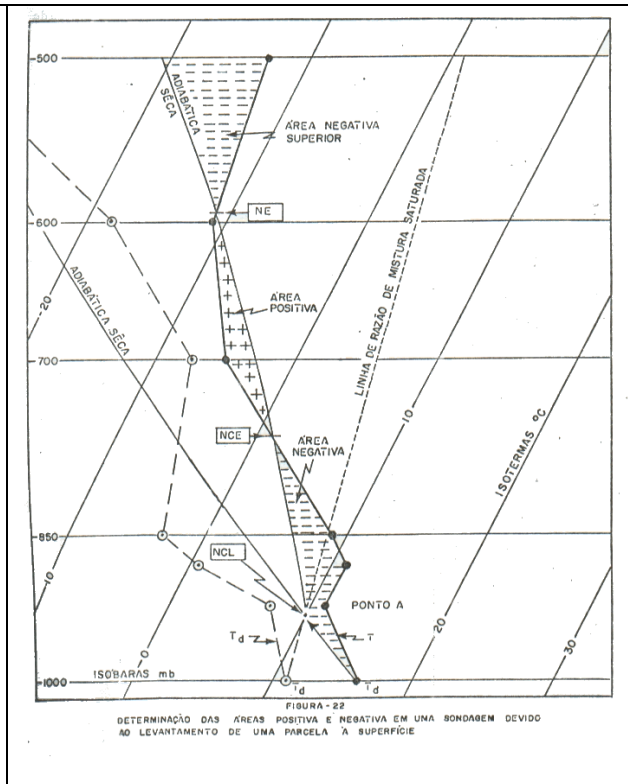


Figura 16 – Determinação das áreas positivas e negativas em uma sondagem, devido ao levantamento de uma parcela à superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcântara, F.; Camargo, A.B. **Manual de Análise do Diagrama Skew-T/Log-P**. Brasília, Ministério da Aeronáutica, MMA-DR-105-07, Jul. 1969, 112p.