

Balanço Energético Observado

Calor Diabático na atmosfera

Energia na atmosfera

Transporte de energia atmosférica

Transporte meridional de Calor sensível

Transporte meridional de Energia potencial

Transporte meridional de Energia cinética

Transporte meridional de Energia total

Calor diabático na atmosfera

A equação da conservação de energia pode ser expressa pela primeira lei da termodinâmica. Assumindo que o ar se comporta como um gás ideal, $p\alpha = R_d T$ onde R_d é a constante dos gases para o ar seco.

A primeira lei da termodinâmica pode ser escrita por:

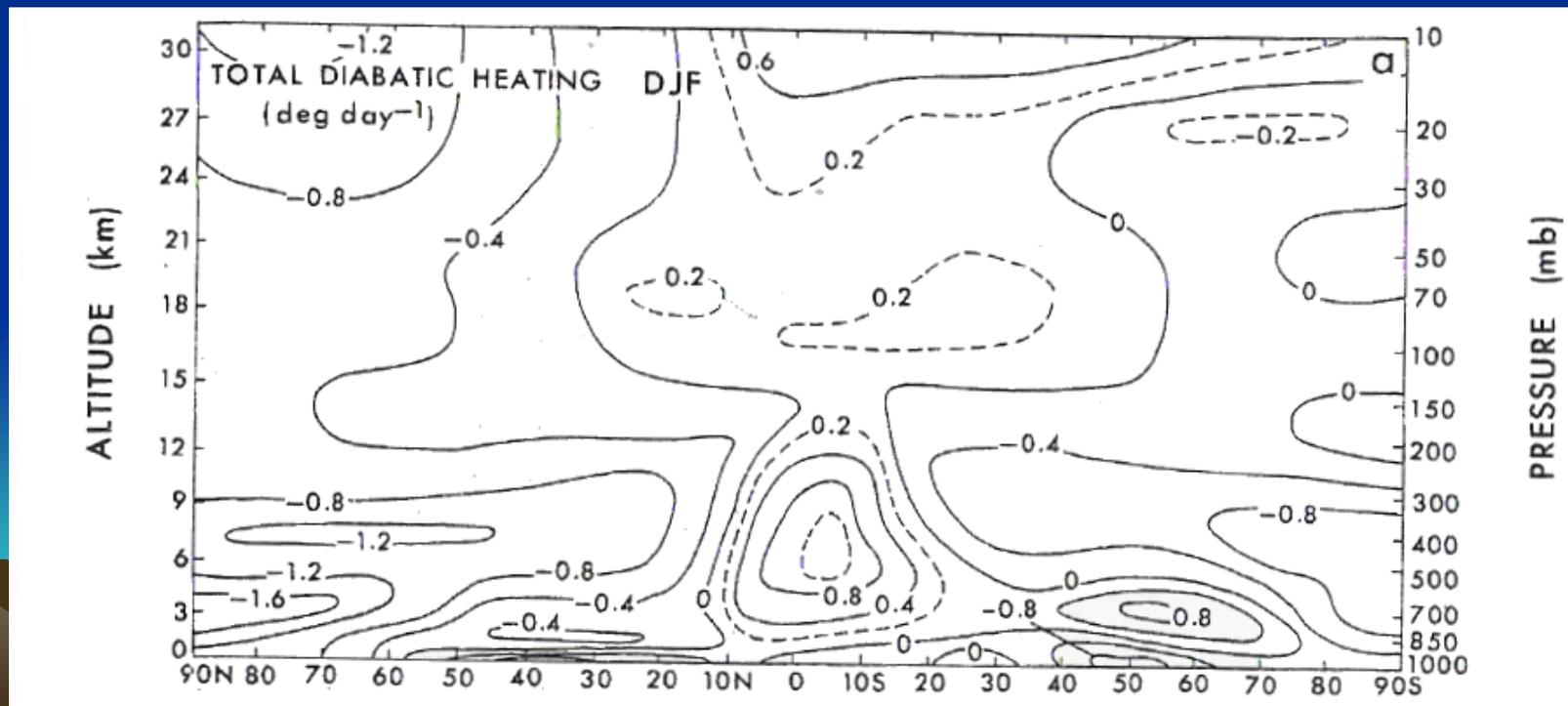
$$c_p \frac{dT}{dt} = Q + \alpha \frac{dp}{dt}$$

onde c_p é o calor específico do ar a pressão constante e Q é o balanço de calor por unidade de massa.



Os processos diabáticos têm um papel muito importante na maioria dos fenômenos meteorológicos, como convecção, frentes e sistemas sinóticos, a uma escala global, na geração e destruição da energia potencial disponível.

Para obter uma ideia da magnitude dos vários componentes de calor diabático representa-se uma secção média zonal para o Hemisfério Norte durante o Inverno (figura 1).

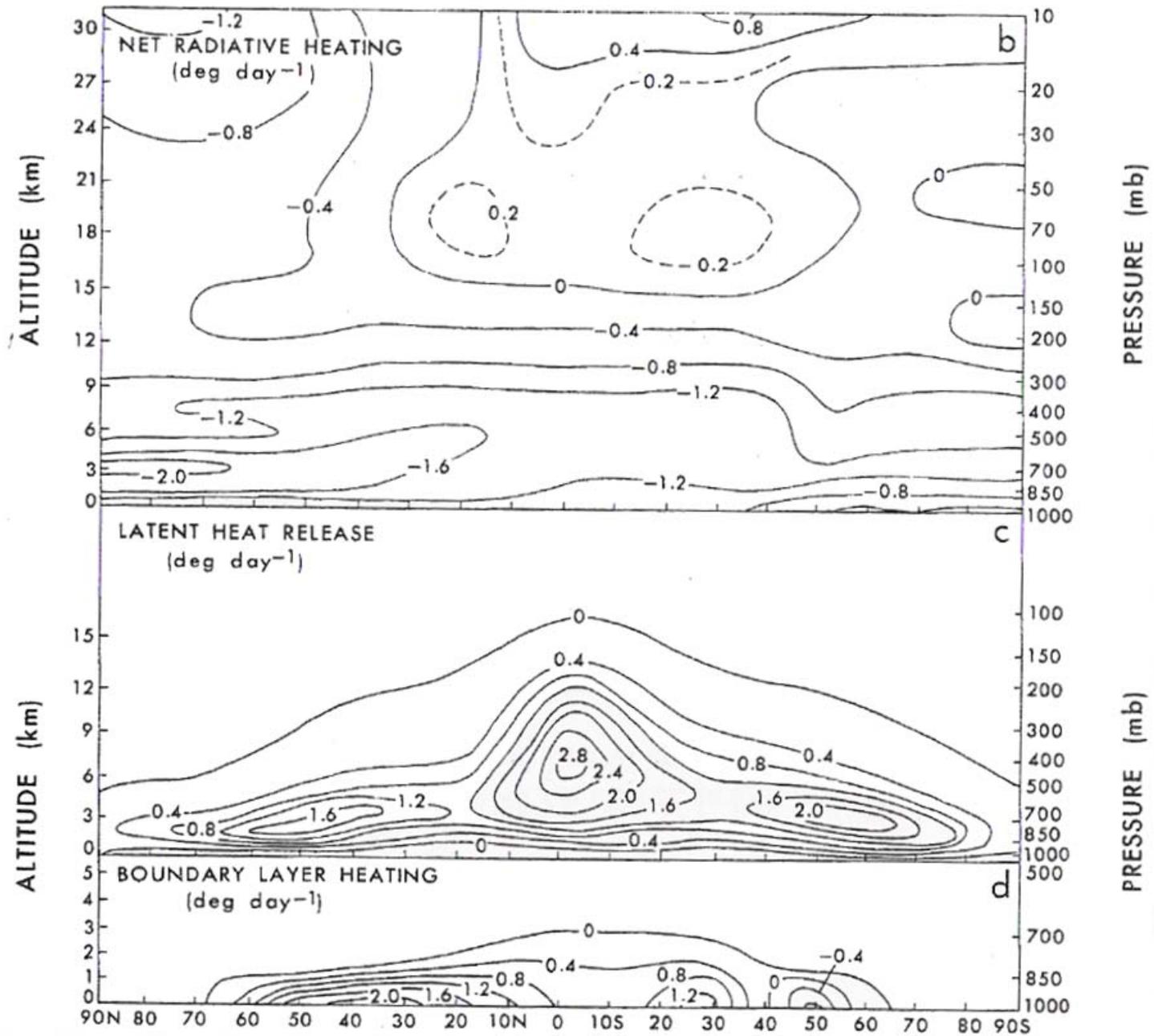


O balanço de calor radiativo é geralmente negativo na ordem de $-0,5$ a $-2,0$ °C/dia. Na alta estratosfera intertropical o balanço de calor radiativo é ligeiramente positivo principalmente devido à forte absorção de radiação solar pelo ozono.

Na troposfera ocorrem três máximos de calor latente libertado, da ordem dos 2 °C/dia. Estão associados à forte precipitação convectiva na ICTZ e com a precipitação da frente polar nas latitudes médias dos dois hemisférios.

O calor sensível da camada limite está confinado principalmente à baixa troposfera abaixo dos 800 mb com os valores mais altos perto da superfície. São devidos aos movimentos turbulentos de pequena escala na superfície da camada limite.





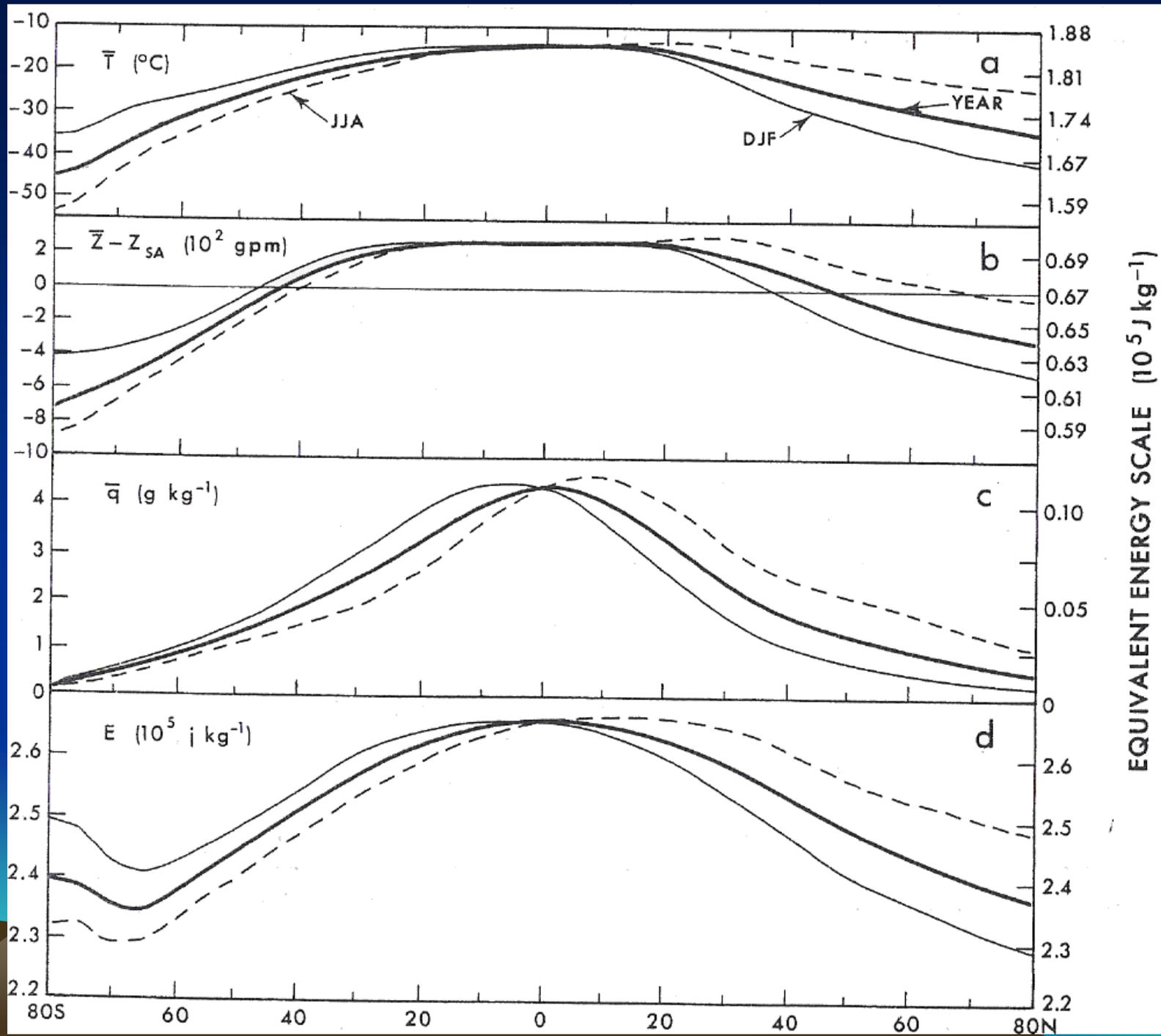
Energia na Atmosfera

A energia pode ser armazenada na atmosfera sob várias formas, energia interna, energia potencial, calor latente, e energia cinética. A energia total por unidade de massa, E , é dada por:

$$E = c_v T + gz + Lq + \frac{1}{2}(u^2 + v^2)$$

Na figura seguinte estão representados perfis verticais de ρ , T , $z - z_{SA}$, q e da energia total E . Estes perfis sintetizam o comportamento geral das correspondentes formas de energia.





EQUIVALENT ENERGY SCALE (10^5 J kg^{-1})

A contribuição da energia cinética é desprezável. O calor latente mostra uma variação sazonal muito forte principalmente nas baixas latitudes, em contraste com a energia interna e potencial para as quais as variações sazonais ocorrem principalmente nas altas latitudes. Os perfis da energia total reflectem estes factos. Os perfis mostram também, que no H.S. nas altas latitudes a energia potencial e interna é menor, assim como o calor latente no H.N. nas altas latitudes. Deve-se mencionar que, principalmente devido à influencia da topografia nos valores da energia potencial, os perfis de \bar{E} mostram um máximo artificial em direcção ao pólo a 70°S.



Os valores médios das várias formas de energia para os dois hemisférios estão na tabela seguinte.

TABLE • 13.1. Hemispheric and global integrals of the atmospheric energy^a per unit surface area in units of 10^7 J m^{-2} from Oort and Peixoto (1983).

	Year			DJF			JJA			DJF-JJA		
	NH	SH	Globe	NH	SH	Globe	NH	SH	Globe	NH	SH	Globe
I	180.6	180.0	180.3	178.2	181.6	179.9	183.4	178.4	180.9	- 5.2	3.2	- 1.0
Φ	70.0	68.7	69.3	69.0	69.3	69.2	71.0	68.3	69.6	- 2.0	1.0	- 0.4
LH	6.48	6.28	6.38	5.15	7.16	6.16	8.07	5.38	6.72	- 2.92	1.78	- 0.56
K	0.116	0.131	0.123	0.168	0.100	0.134	0.072	0.156	0.114	0.096	- 0.056	0.020
E	257.2	255.1	256.1	252.5	258.2	255.4	262.5	252.3	257.4	- 10.0	5.9	- 2.0
K/E (%)	0.05	0.05	0.05	0.07	0.04	0.05	0.03	0.06	0.04			
LH/E (%)	2.52	2.46	2.49	2.04	2.77	2.41	3.07	2.13	2.61			

^aI = internal energy; Φ = potential energy; LH = latent heat; K = kinetic energy; and E = total energy.

A tabela mostra que a forma de energia mais importante são a energia interna (70,4% para a média global anual), a energia potencial (27,1%) e o calor latente (2,5%).



A energia cinética é apenas uma pequena fracção (0,05%) da energia total da atmosfera. No entanto, a energia cinética representa uma fracção considerável da energia disponível para a circulação geral da atmosfera. Claro que o vento é também crucial na redistribuição de energia no globo.

A amplitude no ciclo anual no Hemisfério Norte é quase o dobro do que no Hemisfério Sul, o que é principalmente devido às diferenças da distribuição terra-mar nos dois hemisférios.



Transporte da energia atmosférica

Os movimentos da atmosfera e dos oceanos têm um papel muito importante no transporte de energia das regiões onde há ganho de radiação para as regiões onde há perda. Assim, as correntes atmosféricas e oceânicas têm uma influência moderada na formação do clima. Depois de algumas simplificações, o balanço de energia nos calotes polares é dada por:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int (c_v T + gz + Lq) dm = \iint \overline{(c_p T + gz + Lq)v} \frac{dx dp}{g} + \overline{F}_{TA}^{\downarrow} - \overline{F}_{BA}^{\downarrow}$$

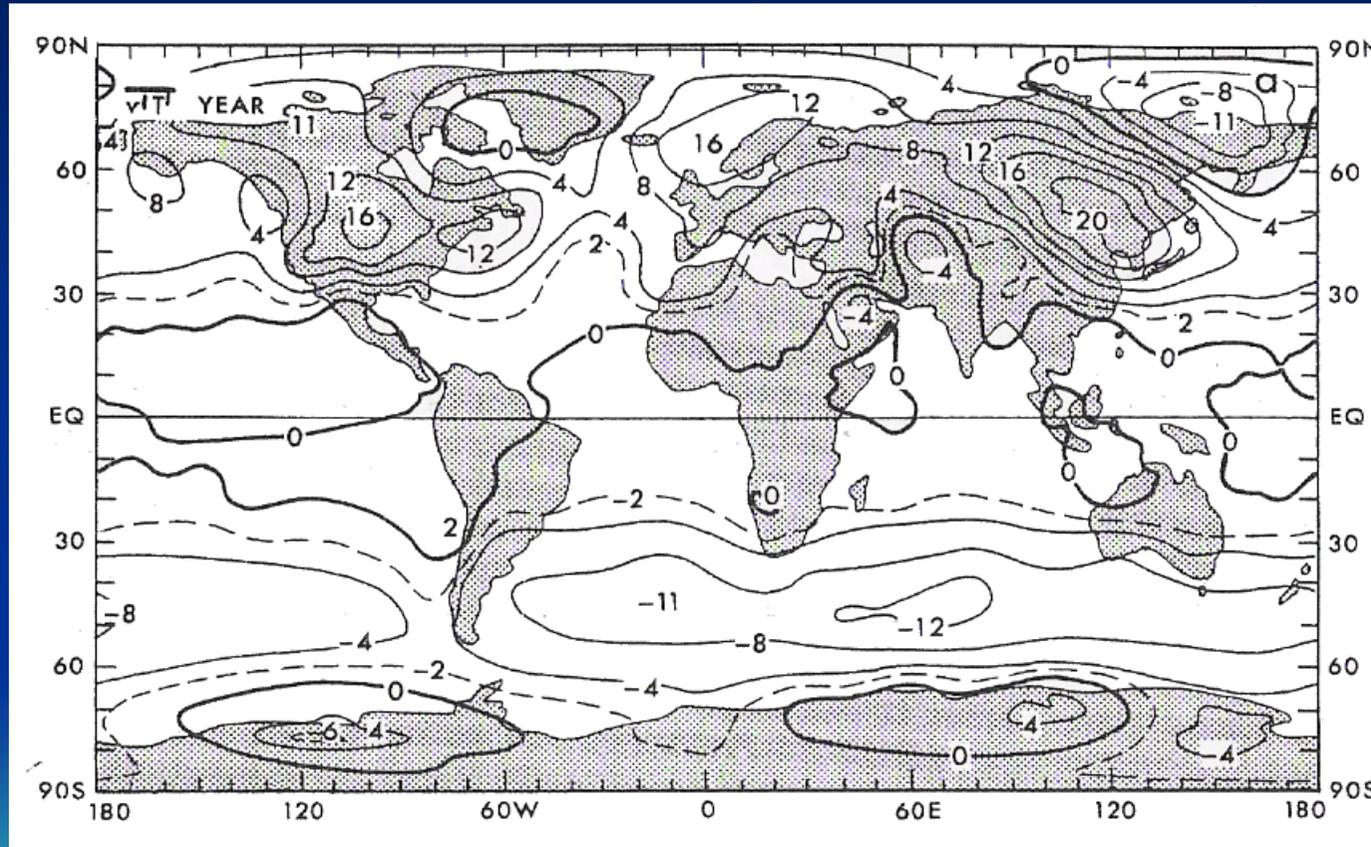


Onde o termo $\overline{F^{\downarrow}_{TA}}$ representa o fluxo de energia para baixo no topo da atmosfera, e $\overline{F^{\downarrow}_{BA}}$ o fluxo de energia para baixo no fundo.

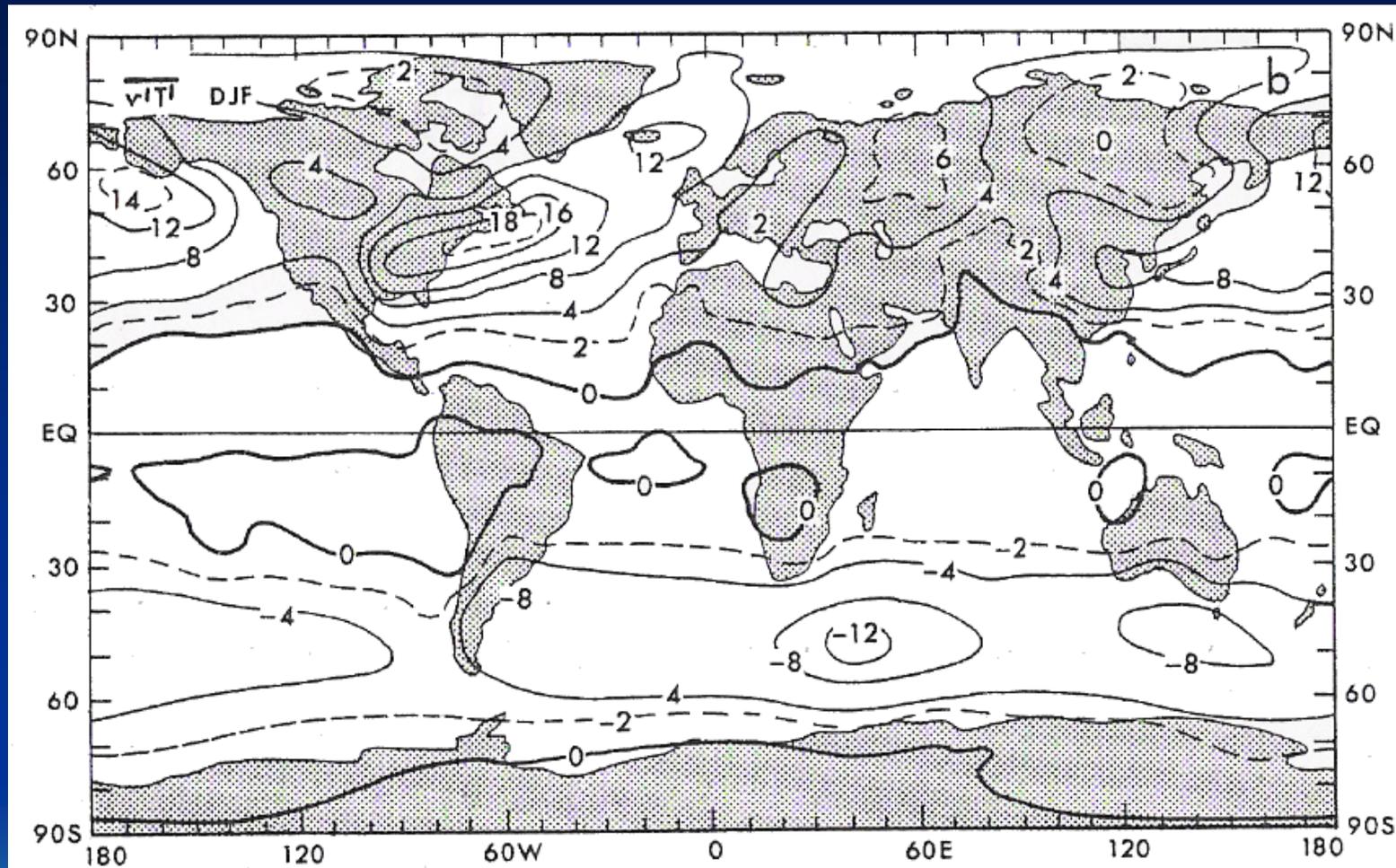
A equação anterior refere que a mudança de energia nos pólos é o fluxo resultante das trocas de energia com o resto da atmosfera.



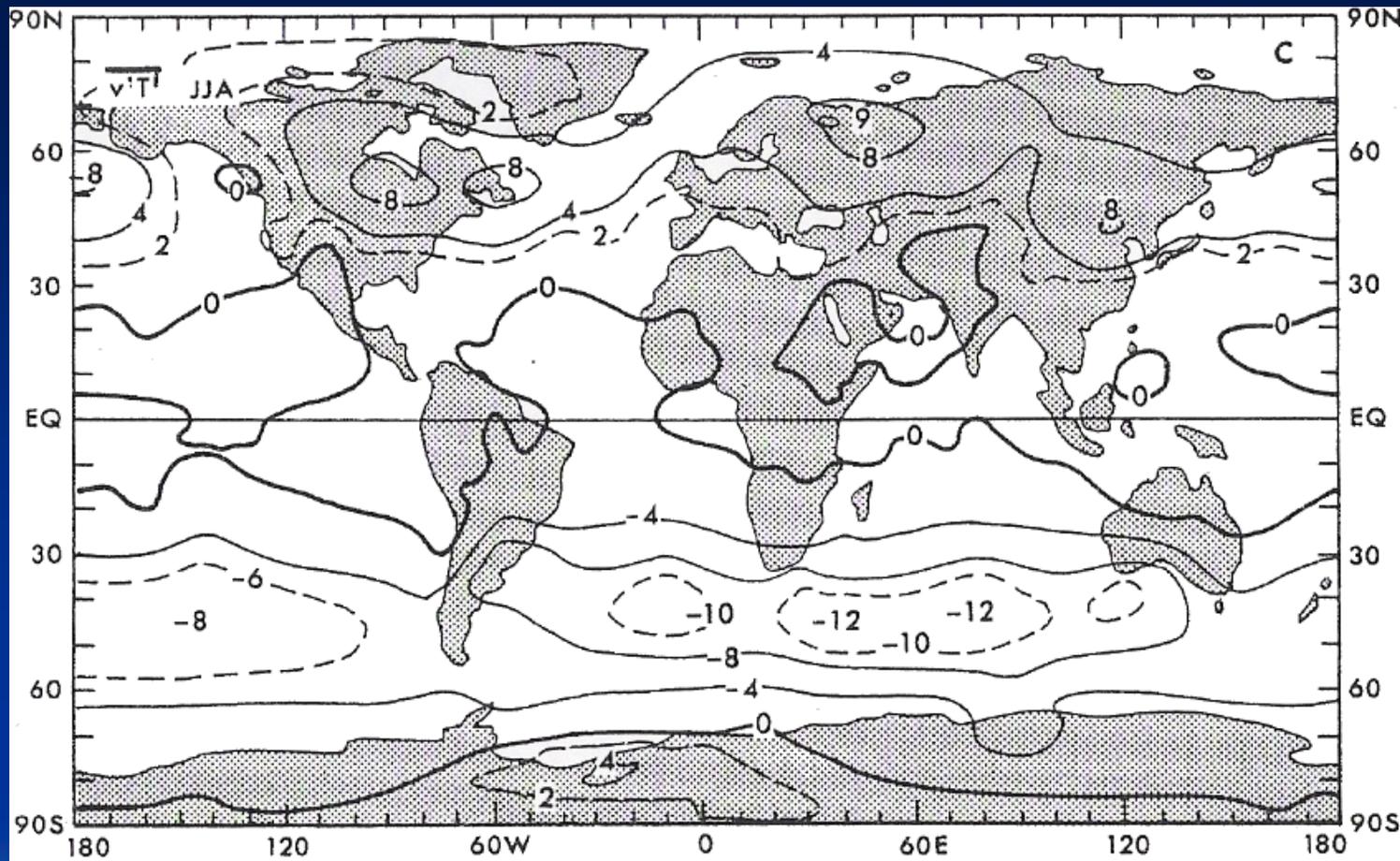
Transporte meridional e Calor sensível



Distribuição global da média vertical do transporte de calor sensível para norte pelos eddies transientes, em $^{\circ}\text{Cm/s}$ em condições médias anuais.



Distribuição global da média vertical do transporte de calor sensível para norte pelos eddies transientes, em $^{\circ}\text{Cm/s}$ para a média DJF.

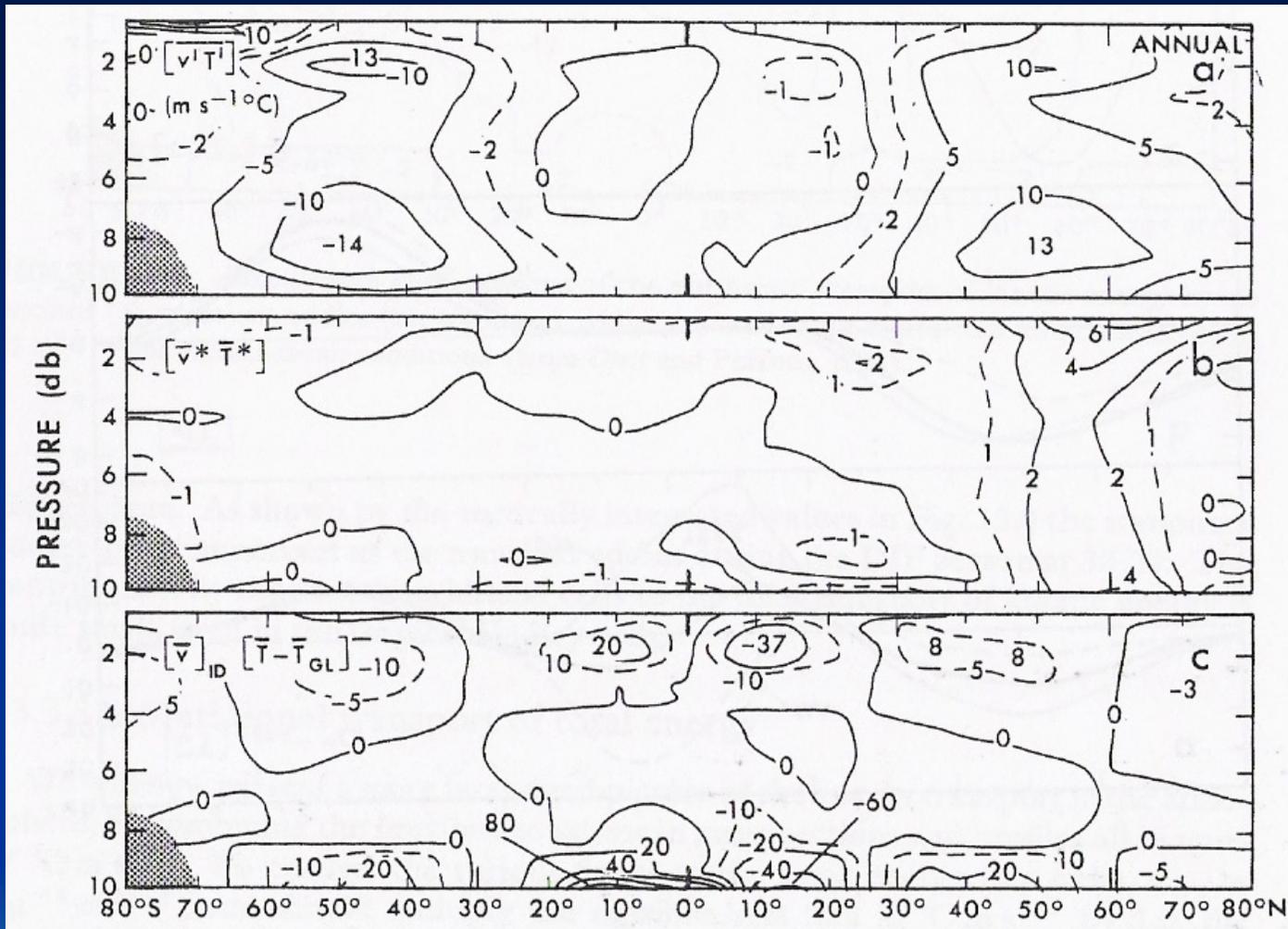


Distribuição global da média vertical do transporte de calor sensível para norte pelos eddies transientes, em $^{\circ}\text{Cm/s}$ para a média JJA.

O transporte devido aos *eddies* é predominantemente para os pólos, nos dois hemisférios com um máximo nas latitudes médias. O mapa anual mostra que nas latitudes médias o forte fluxo de calor para os pólos é uniforme no H.S., mas com um máximo distinto no H.N., na América do Norte e Este da Ásia.

Isto está claramente associado com os distúrbios baroclínicos ao longo da frente polar. Sobre o equador os fluxos meridionais são muito pequenos, assim como nos pólos. No entanto, a algumas longitudes perto dos 70° de latitude há valores direccionados para fora dos pólos.

Os fluxos para os extremos sazonais são mais intensos nos Invernos hemisféricos. No H.N. a influência da distribuição terra-mar é muito pronunciada. No H.S. encontra-se um cinto uniforme, de um máximo de fluxo para o pólo a 45°S .



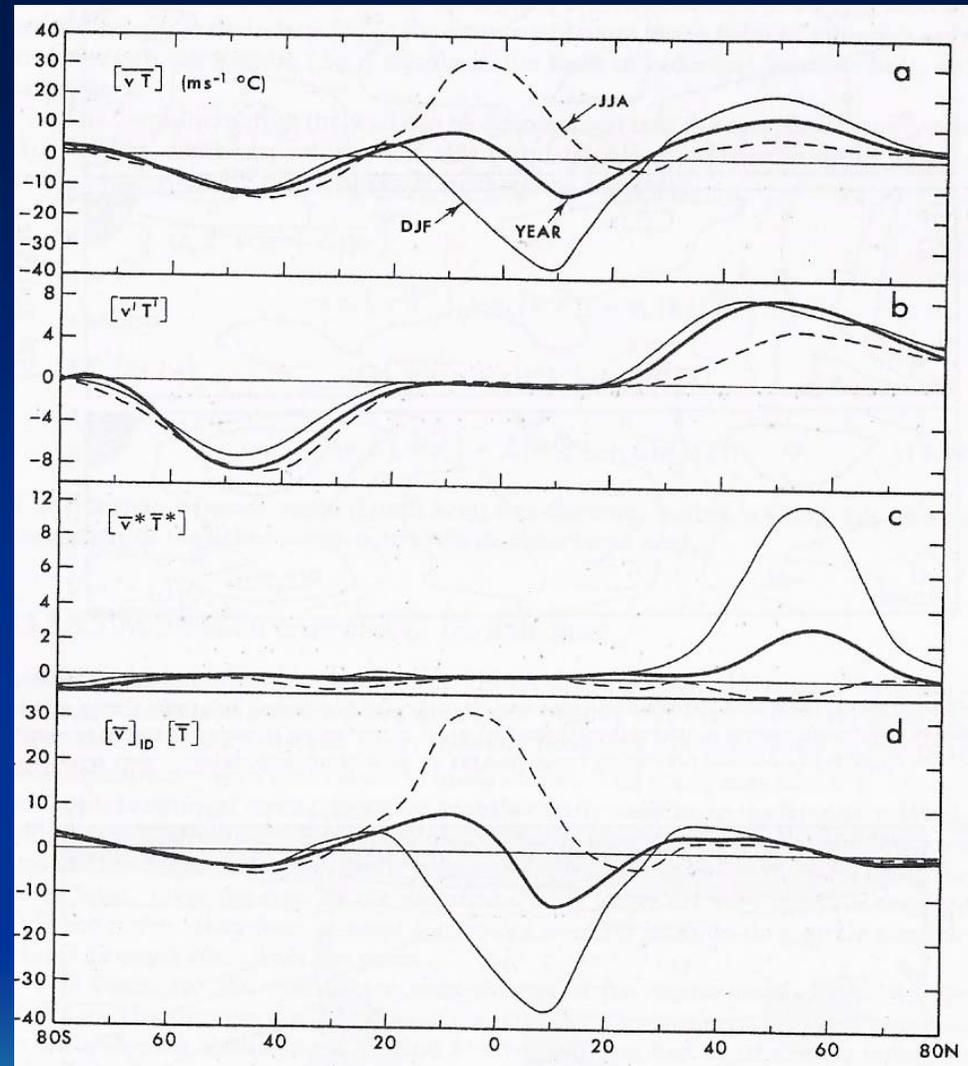
Secção zonal média do transporte para norte do calor sensível por eddies transientes (a), eddies estacionários (b) e circulação média meridional (c) em $^{\circ}\text{Cm/s}$.

Perto dos 50° de latitude o transporte exibe dois máximos na vertical a cerca de 850 e 200mb, que estão associados com a alternância de massas de ar e com as flutuações da tropopausa, respectivamente. Entre 20°S e 20°N vê-se que os eddies trasientes nos trópicos transportam calor para o equador. Eles actuam de uma maneira anormal e então tendem a aquecer e não a arrefecer no interior dos trópicos.

Os eddies estacionários têm uma diferente estrutura, usualmente mais fraca com maiores valores no H.N acima de 40°N.

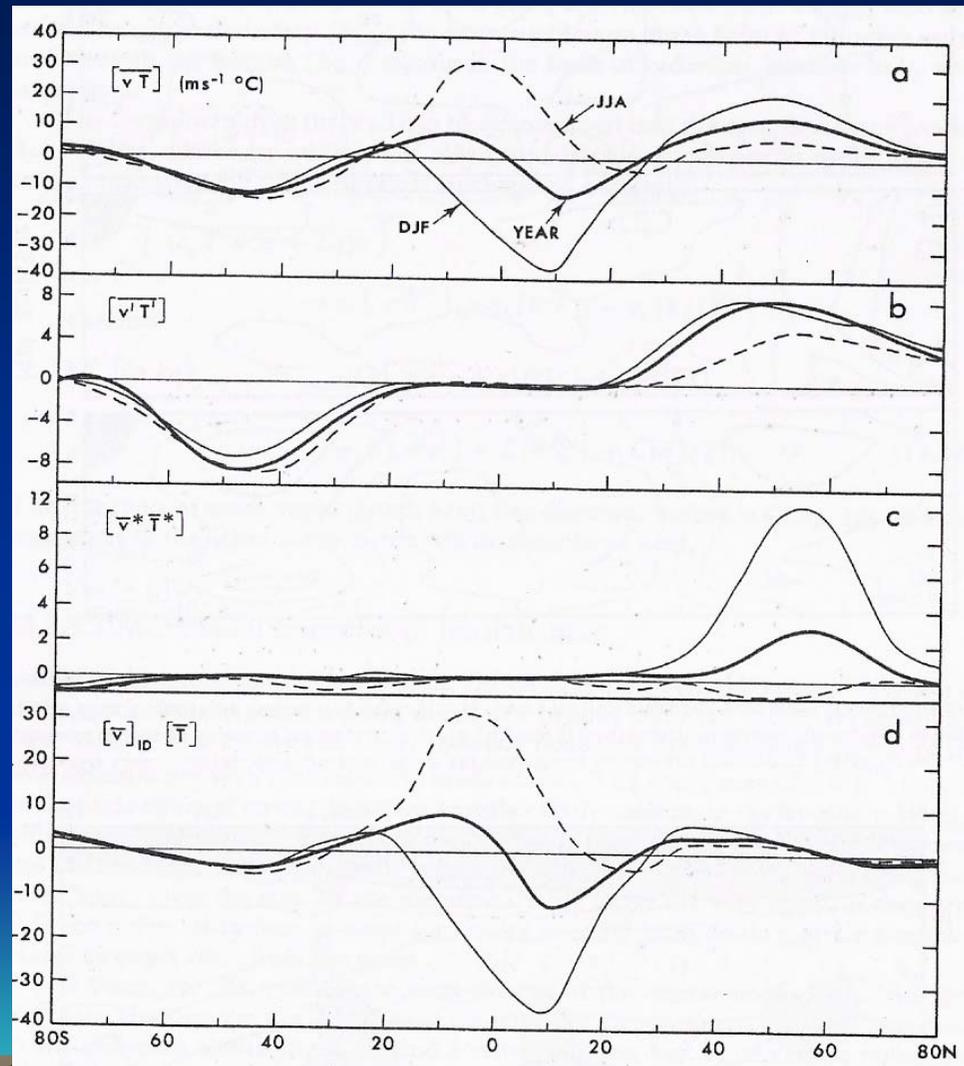


Como mostra a figura, os eddies estacionários têm uma grande variação sazonal no H.N. no Inverno, o transporte por eddies estacionários pode exceder o transporte pelos eddies transientes.



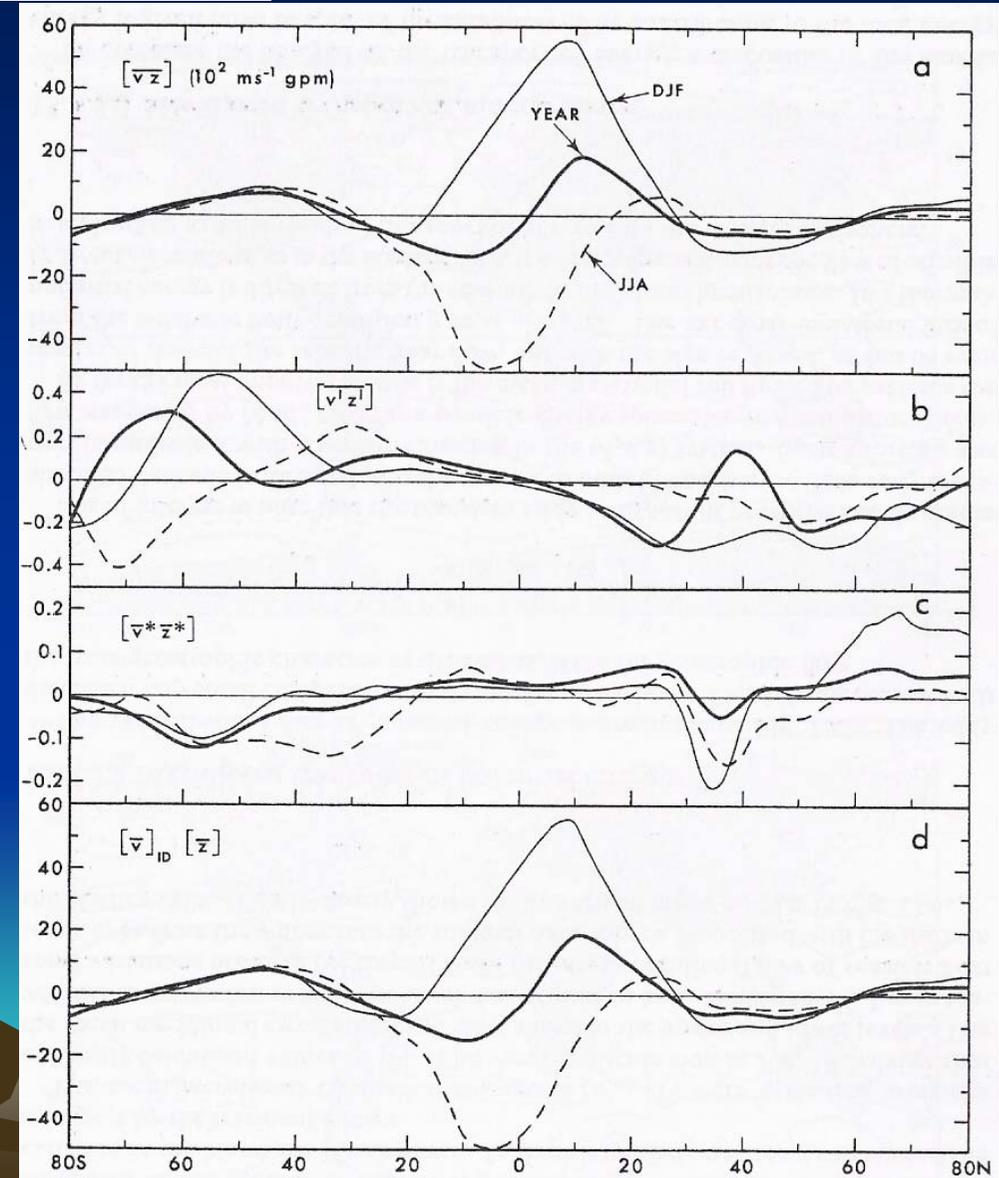
Perfis meridionais da média zonal e vertical do fluxo de calor sensível de todos os movimentos (a), eddies transientes (b) eddies estacionários (c) circulação meridional média (d) em $^{\circ}\text{Cm/s}$

O transporte da circulação média meridional é avaliada usando indirectamente os valores de \bar{v} . A distribuição vertical da figura anterior mostra que a circulação meridional é mais activa nos níveis mais altos e mais baixos. Grandes variações sazonais ocorrem nos trópicos, então o fluxo médio meridional de calor sensível tende a ser do Inverno para o verão hemisférico, associado com as mudanças nas células de Hadley. Isto é claramente mostrado nos perfis médios verticais da figura.



Transporte meridional da energia potencial

Perfis meridionais da média zonal e vertical do transporte de energia potencial por todos os movimentos (a), eddies transientes (b), eddies estacionários (c) e circulação meridional (d) em 10^2 gpm m/s.



É interessante notar que o transporte da energia potencial por eddies transientes ao longo da latitude de 25° é direccionado para os trópicos nos dois hemisférios.

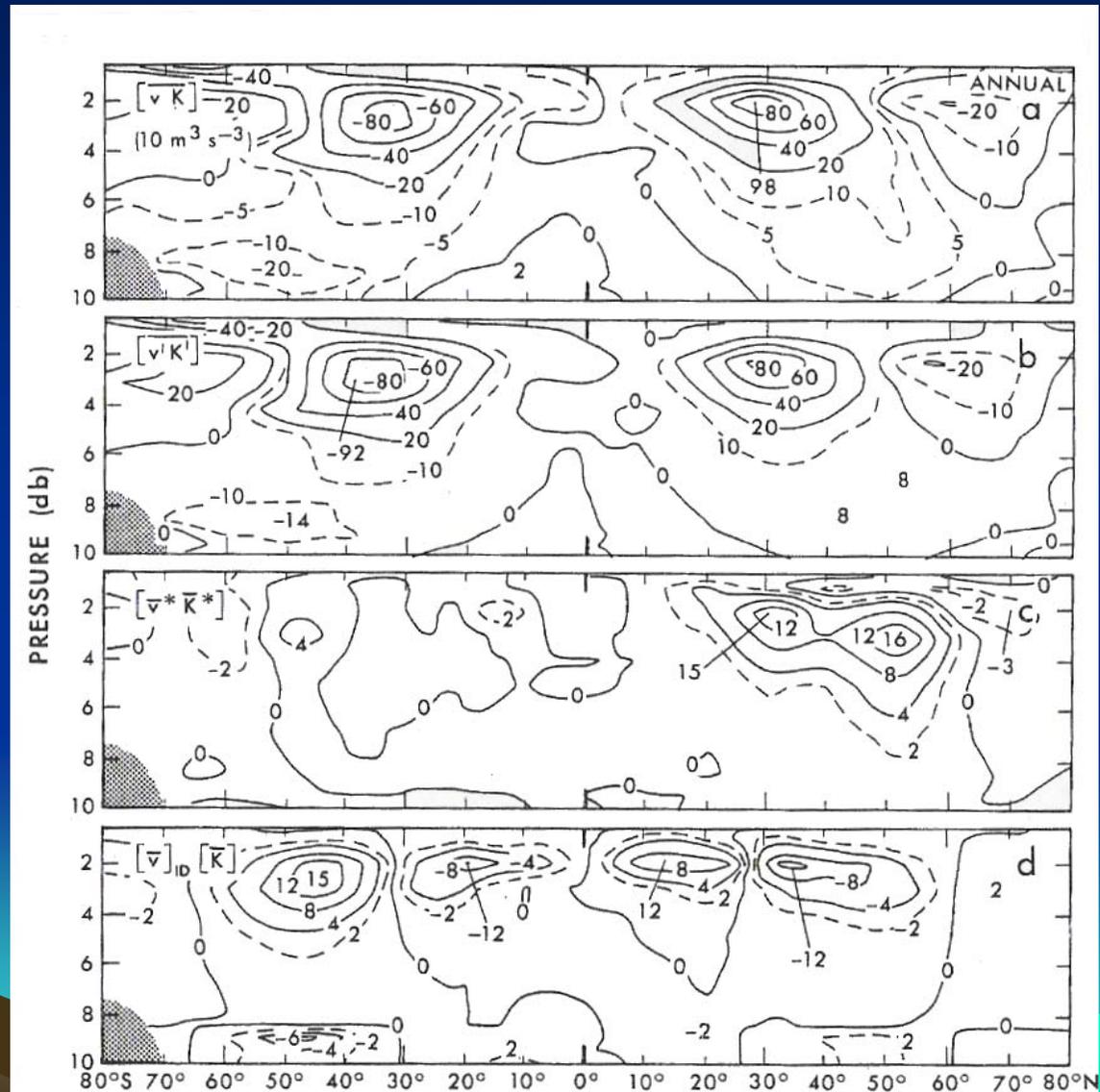
Os padrões são similares aos de fluxo de calor sensível mas com sinal contrário, que pode ser visto pela condição de limite adiabático, $gdz = -c_p dT$.

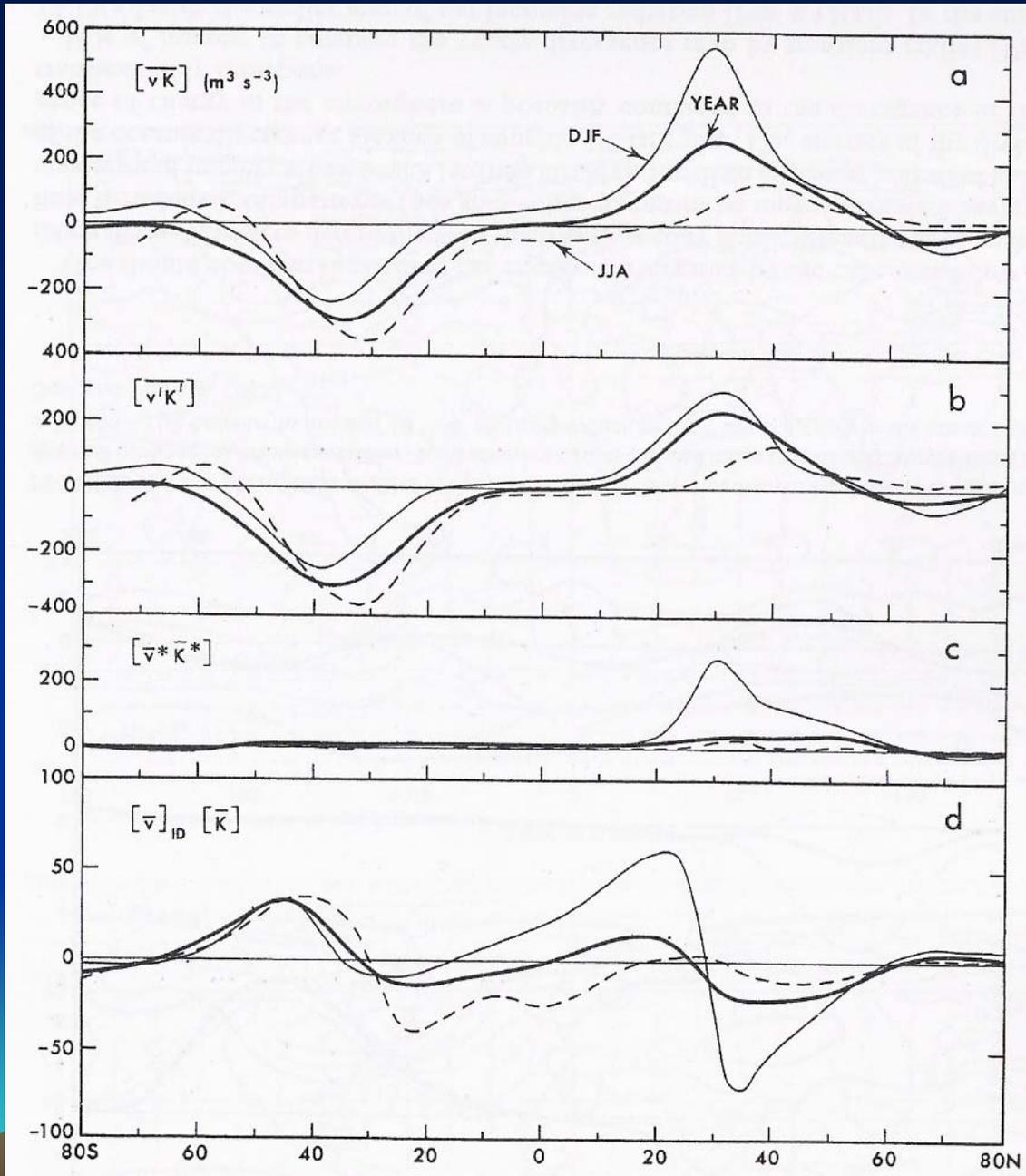
O fluxo efectivo de energia potencial que atravessa o equador está direccionado do Verão para o Inverno hemisféricos. Na circulação térmica, como as células de Hadley, é compensado pelo fluxo de calor sensível, levando a um transporte residual de energia para o Inverno hemisférico.



Transporte meridional da energia cinética

Secção zonal média do transporte para norte da energia cinética por todos os movimentos (a), por eddies transientes (b), eddies estacionários (c) e circulação média meridional (d) em $10\text{m}^3/\text{s}^3$ para condições médias anuais.





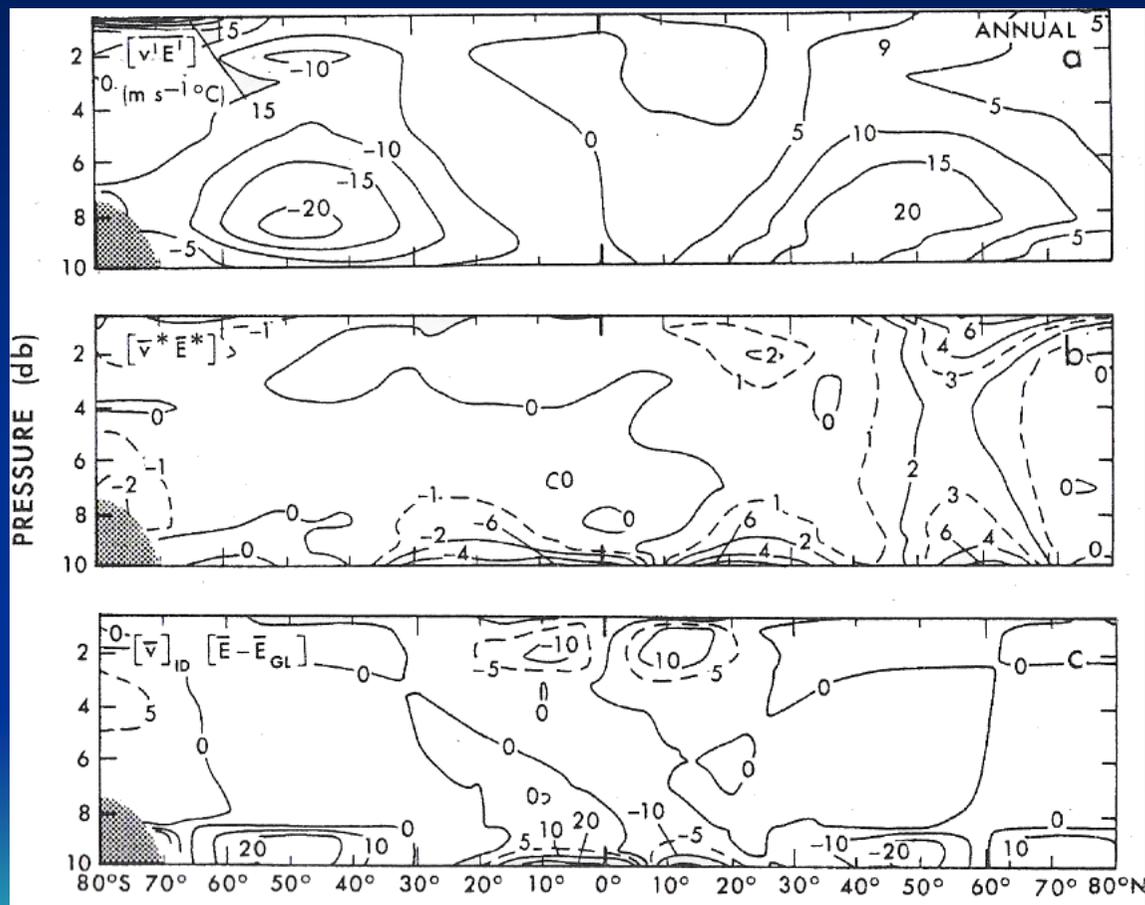
Perfis meridionais da média zonal e vertical do transporte de energia cinética por todos os movimentos (a), eddies transientes (b), eddies estacionários (c) e circulação meridional (d) em m^3/s^3 .

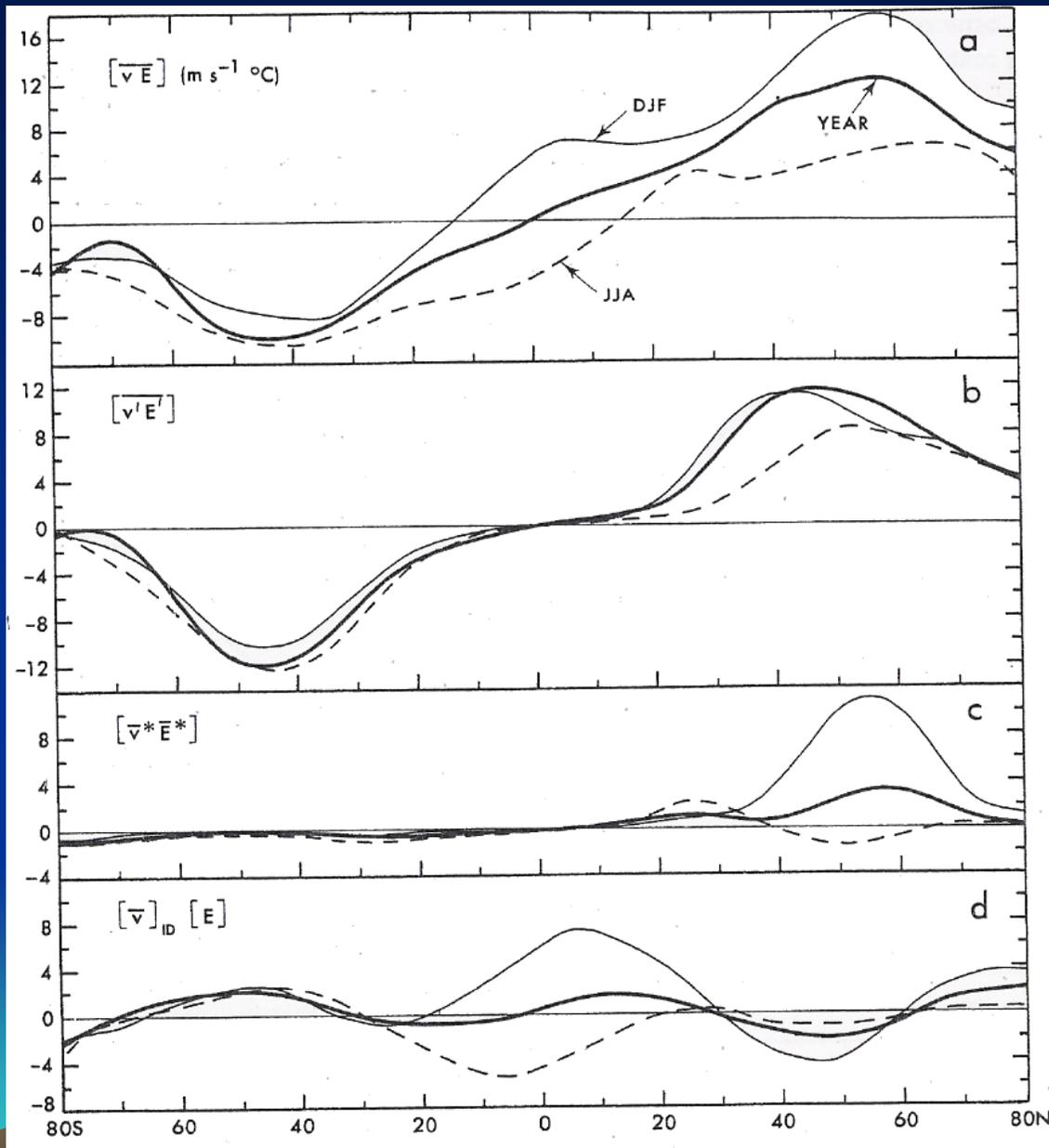
O transporte ocorre principalmente no nível das correntes de jacto na alta troposfera. A secção mostra centros positivos e negativos, levando a uma convergência bem definida da energia cinética total nas latitudes médias. Os eddies transientes têm os valores mais altos. Os eddies estacionários são quase inexistentes no H.S., mas importantes no H.N. Como mostra a figura 10 os eddies estacionários são tão importantes como os transientes durante DJF a 30°N. A contribuição da média meridional para o transporte total da energia cinética é pequena, mesmo nas células de Hadley tropicais.



Transporte meridional da energia total

Secção zonal média do transporte para norte da energia total por eddies transientes (a), eddies estacionários (b) e circulação média meridional (c) em $^{\circ}\text{Cm/s}$, para condições médias anuais.





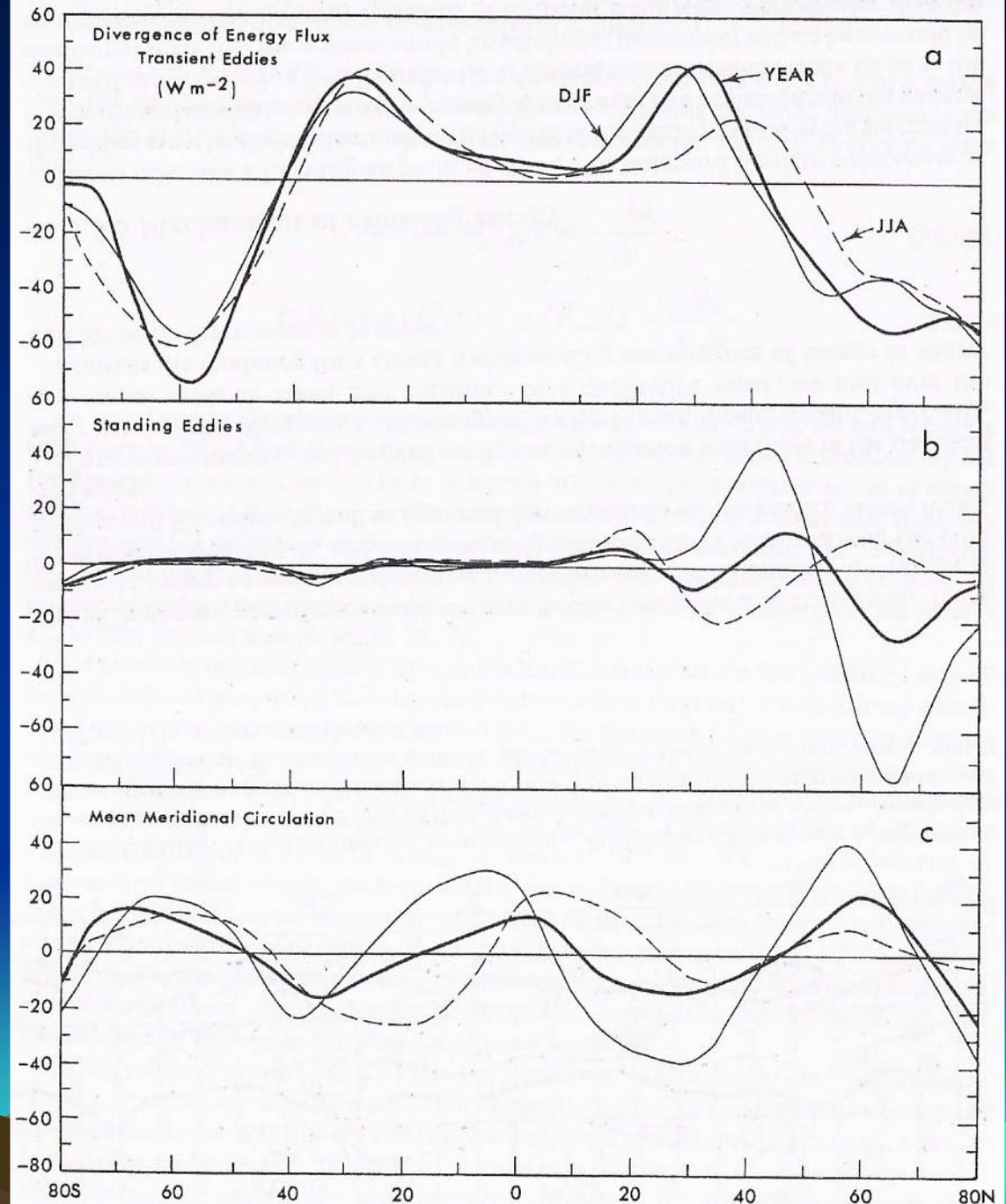
Perfis meridionais da média zonal e vertical do transporte de energia por todos os movimentos (a), eddies transientes (b), eddies estacionários (c) e circulação meridional (d) em $^{\circ}\text{Cm/s}$.

Os modos mais importantes no transporte da energia total são os eddies transientes e a circulação meridional. De facto, a 20°S e a 20°N a circulação média meridional aparece como o mecanismo mais importante no transporte meridional de energia. Mas a 30°N ou mais, os eddies têm um papel muito dominante para todas as formas de energia, excepto para a energia potencial.

Para o fluxo de energia total pelos eddies, as alterações sazonais são grandes no H.N. e pequenas no H.S.



As principais fontes e sumidouros de energia atmosférica são apresentados quando se considera a divergência do transporte de energia. Os seus perfis médios verticais estão representados nas figuras seguinte, para a média anual e condições de Inverno e Verão.



Como esperado as principais fontes de energia estão nas regiões intertropicais, mostrando uma distribuição bimodal, e os principais sumidouros estão nas altas latitudes. O efeito efectivo dos eddies transientes em escala regional pode ser estudado analisando os mapas da divergência do transporte de energia. Os centros de divergência de energia, as fontes de energia estão localizados por volta dos 30°N e 30°S.

No H.S. é encontrado um valor zonalmente uniforme, perto de 50 w/m², enquanto que no H.N. encontra-se duas fontes de energia sobre a corrente do Golfo e a região de Kuroshio com divergência máxima acima de 150 w/m². Regiões de convergência (sumidouros) de energia atmosférica são encontrados acima dos 45° de latitude com centros da ordem de -100 w/m² no Este do Canadá, Nordeste da Islândia, e Este da Sibéria. No H.S. um extensivo cinto de convergência é encontrado sobre os oceanos à volta borda da Antárctica.