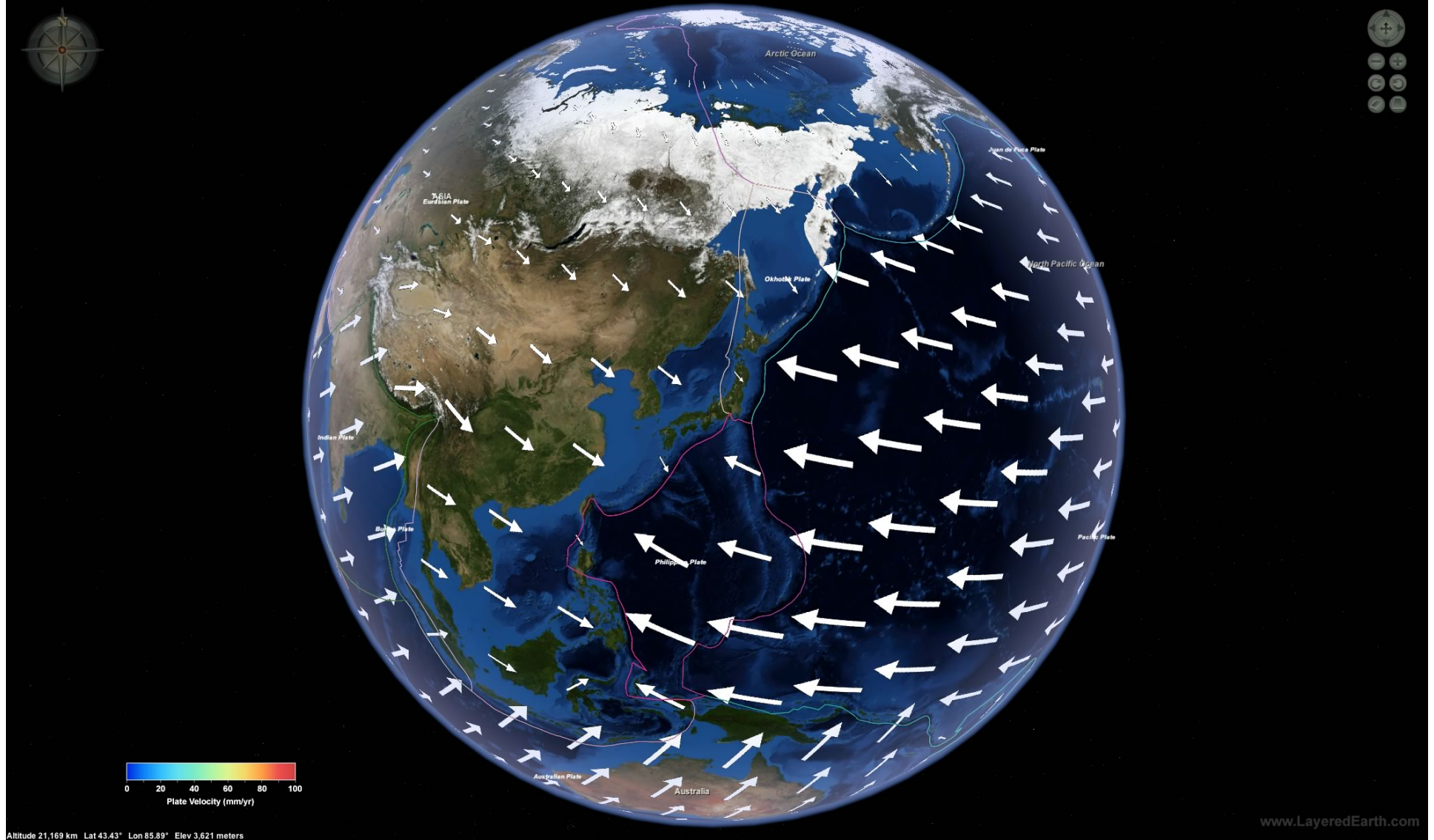


# Cinemática das Placas



# Plano da Aula

## Introdução

### Caso 1D:

- A linha das velocidades
- Cinemática de placas

### Caso 2D:

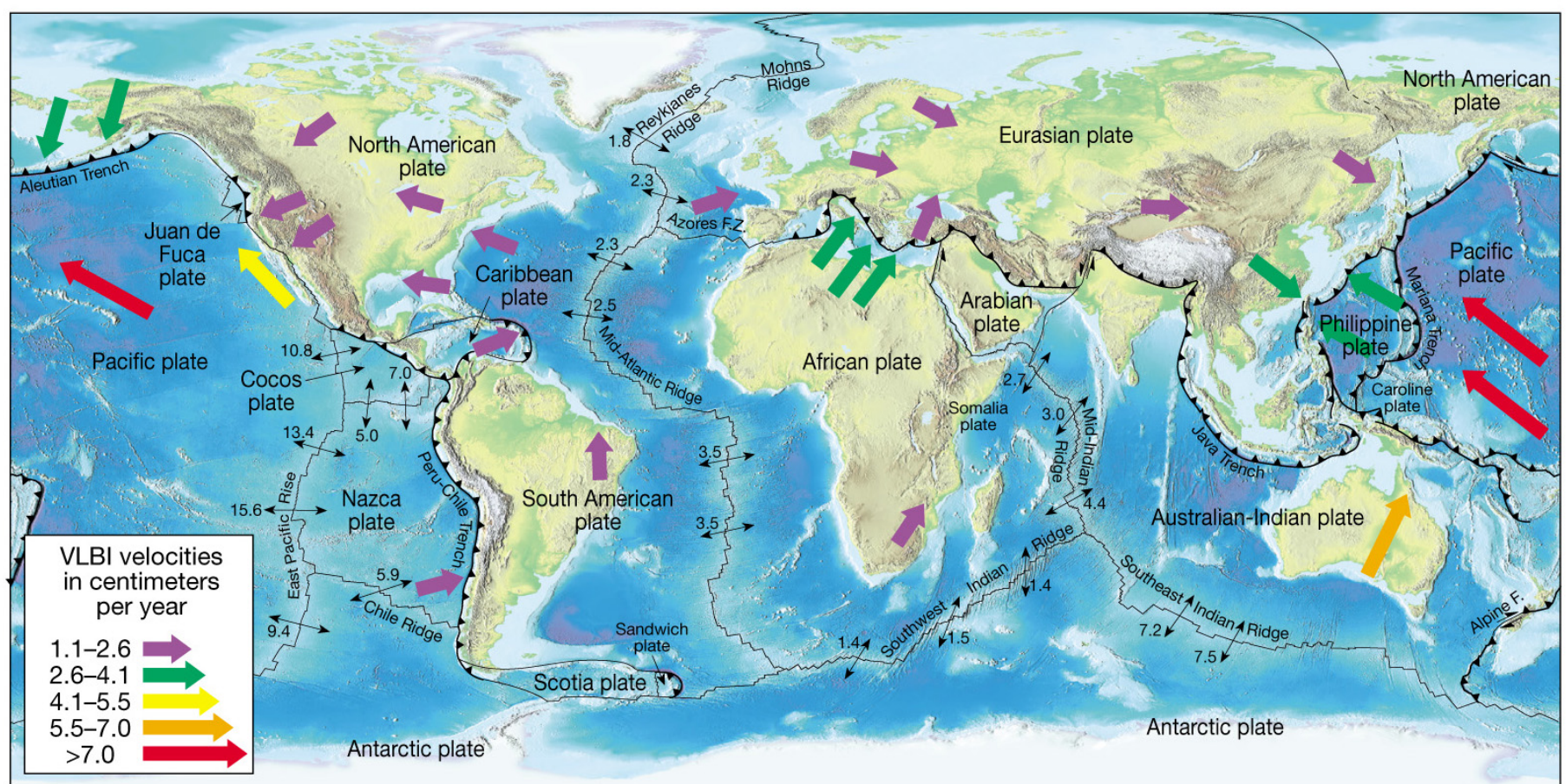
- O plano das velocidades
- Cinemática de placas 2D.

### O caso de Juan de Fuca



# Introdução

A superfície da Terra é dividida em placas tectônicas com **movimento relativo**.





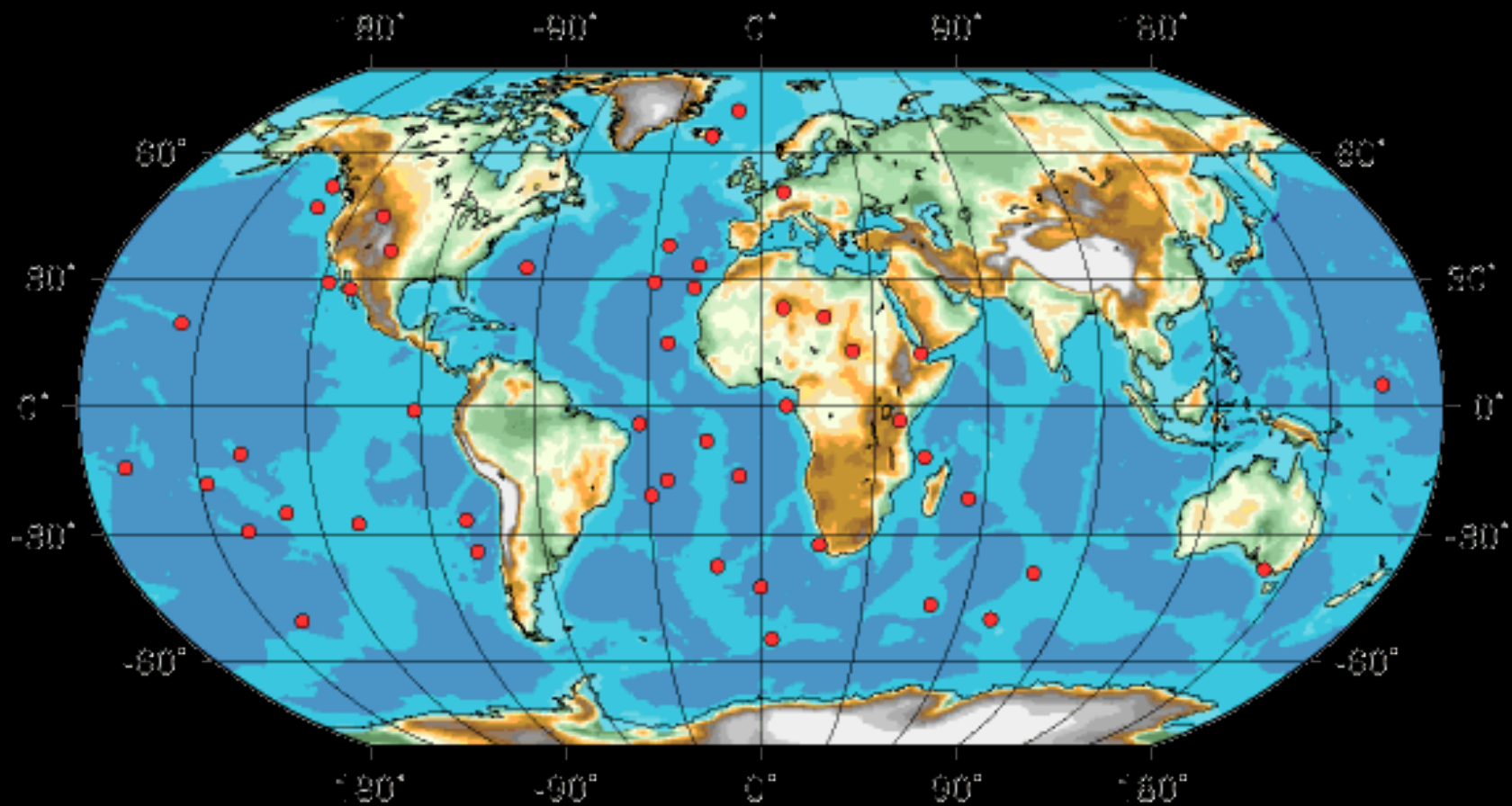
# Velocidades relativas

As velocidades deduzidas pela tectônica de placas são velocidades relativas.



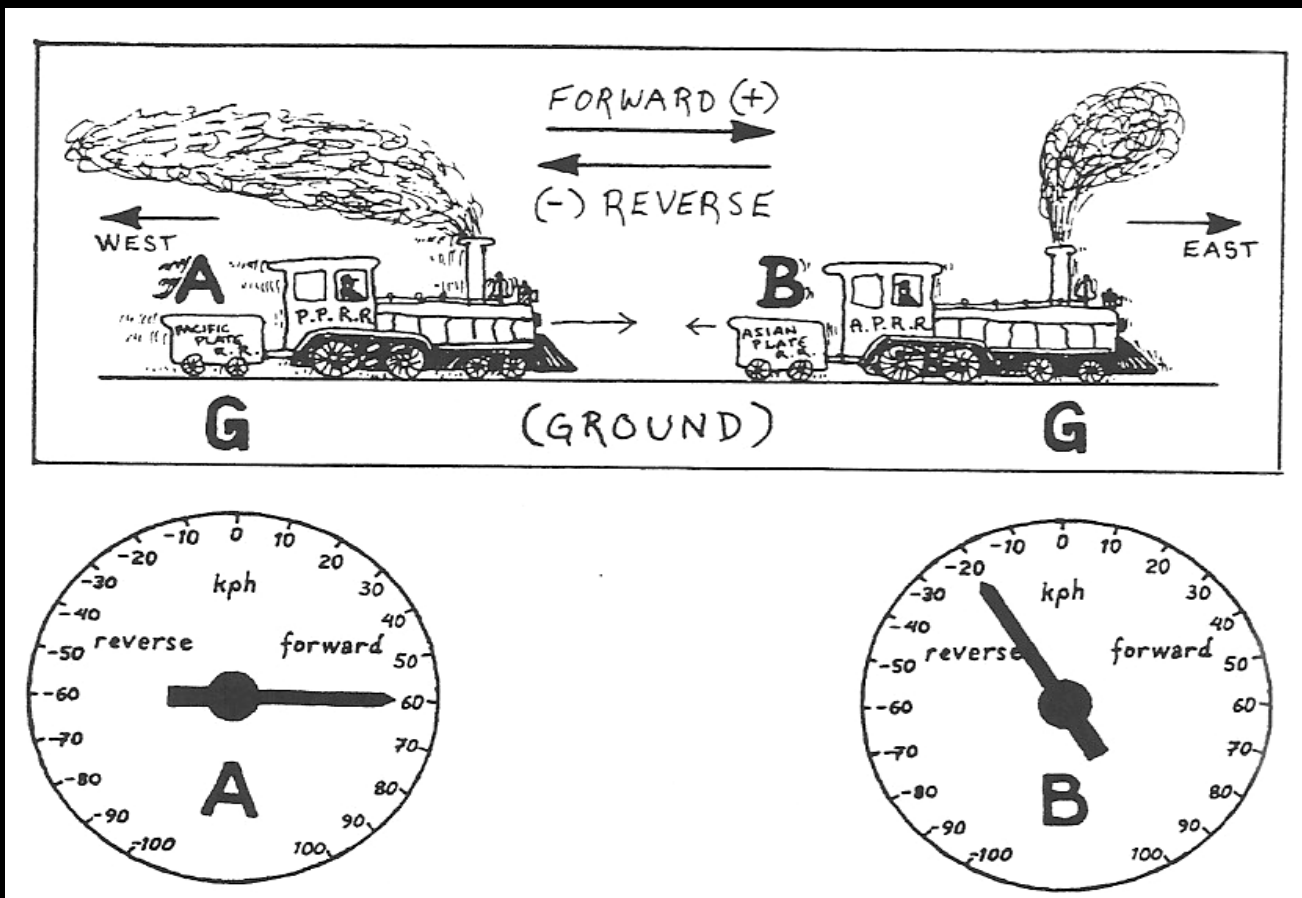
# Velocidades absolutas?

Os hot-spots são, às vezes, considerados como feições estacionárias do manto.



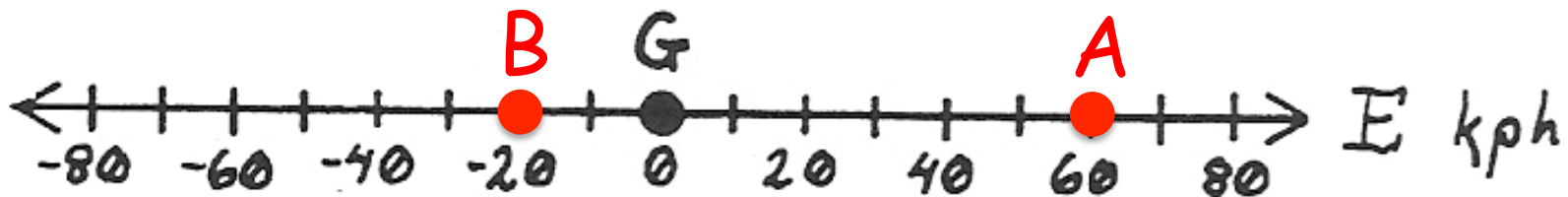
# Caso 1D

Vamos considerar o velho caso de dois trens viajando pela mesma trilha.



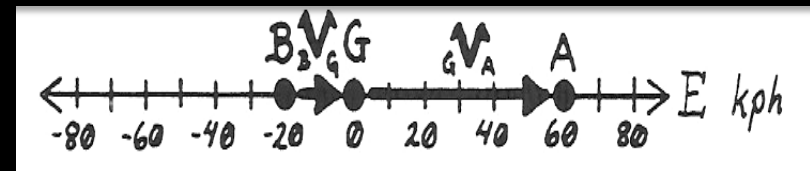
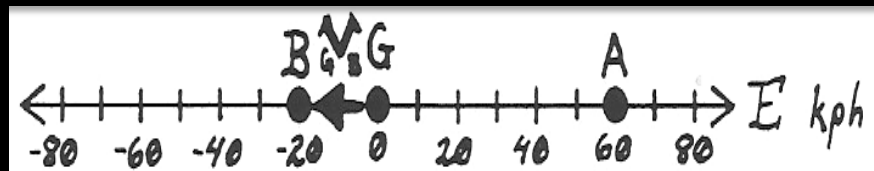
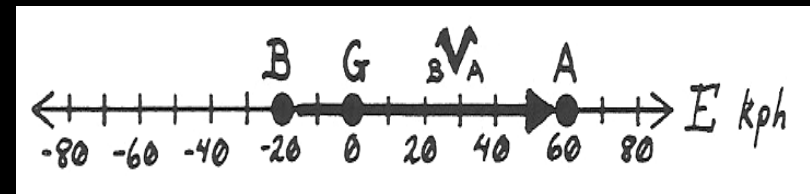
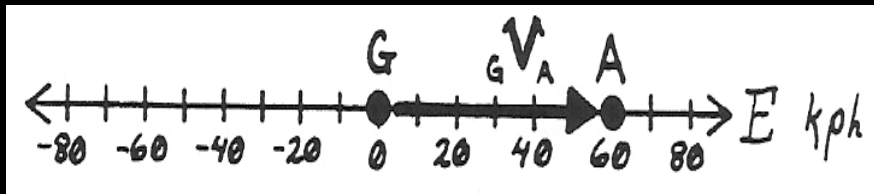
# A linha das velocidades

O espaço das velocidades é uma linha reta onde as velocidades são representadas através de pontos.



# Velocidades relativas

Para obter a velocidade relativa de Y com respecto de X,  ${}_XV_Y$



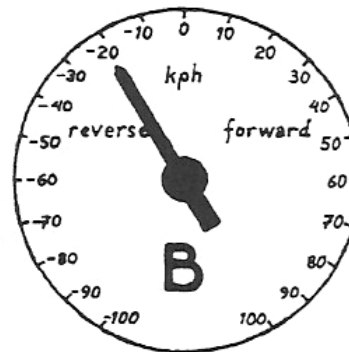
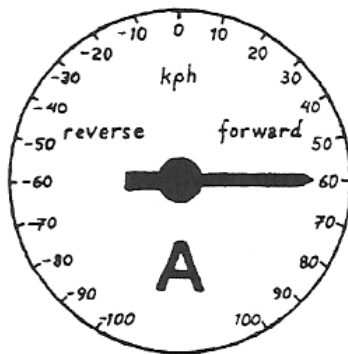
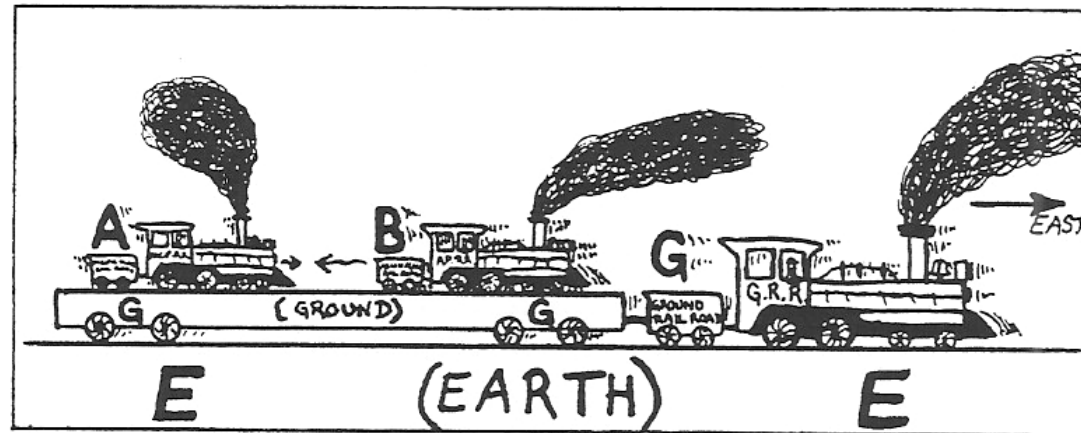
Percebam que

$${}_X V_Y + {}_Y V_Z = {}_X V_Z \quad {}_X V_Y = - {}_Y V_X$$



# Sistema de referência

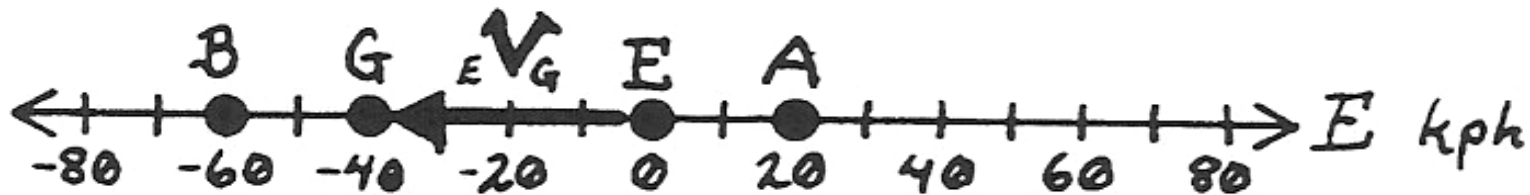
Se acontecer que o trem, na verdade, viaja acima de outro trem ...



# Sistema de referência

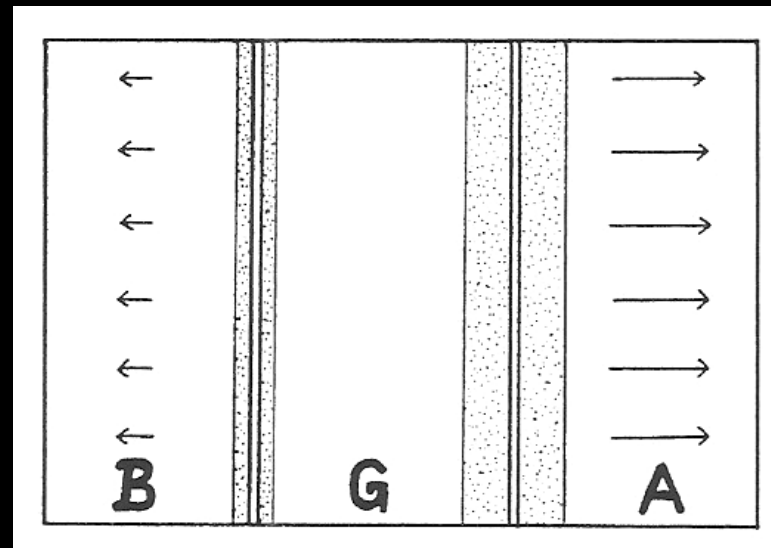
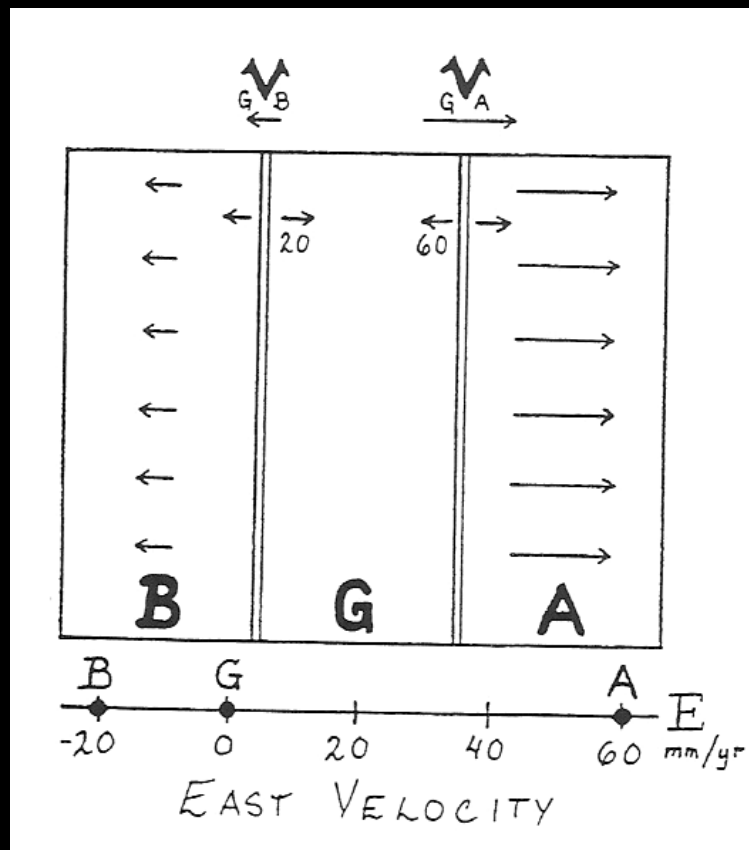
Se acontecer que o trem, na verdade, viaja acima de outro trem ...

É só adicionar a velocidade relativa dos sistemas de referência



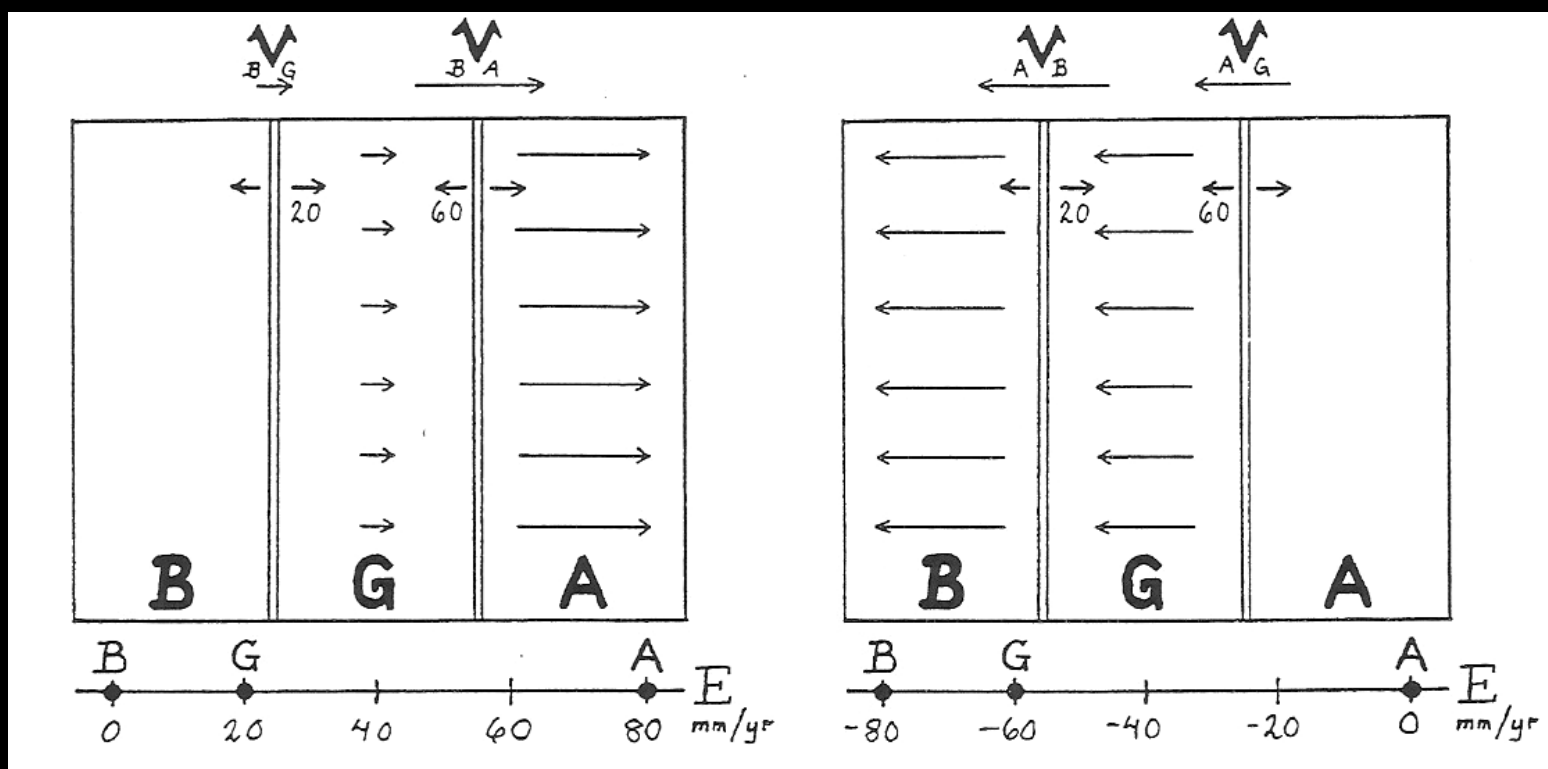
# Placas tectônicas

Mesma coisa acontece com as placas tectônicas.



# Placa de referência

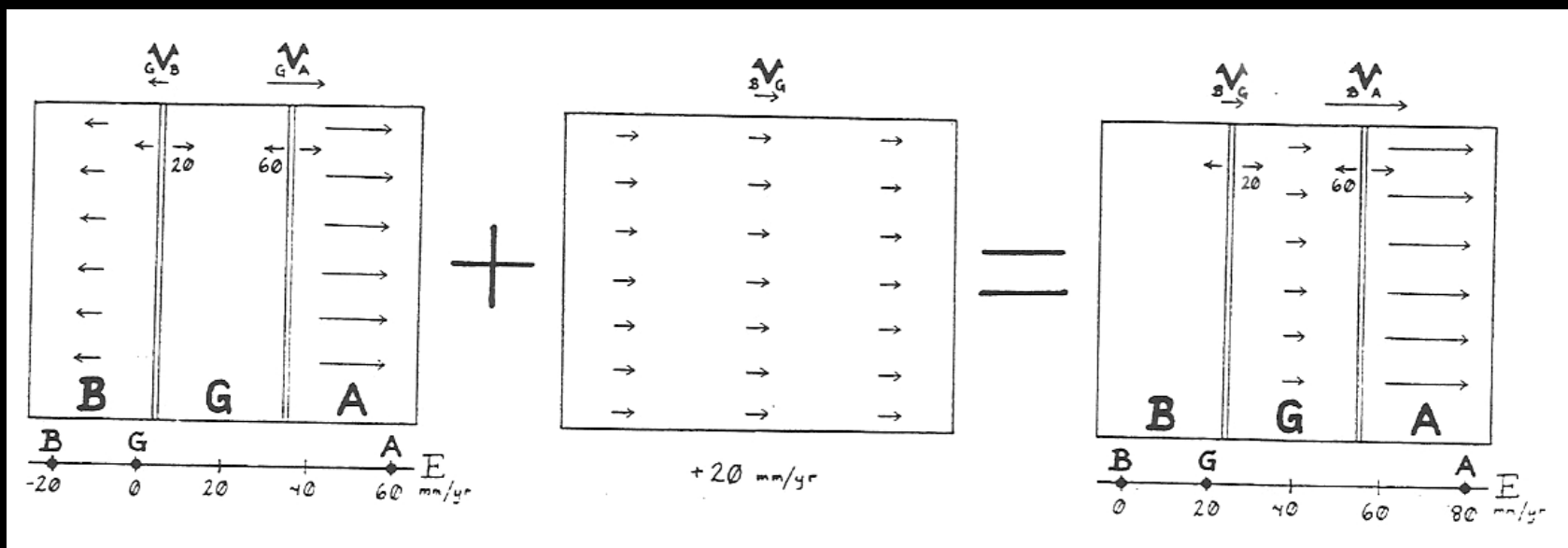
Podemos mudar a placa de referência para a placa A ou B:





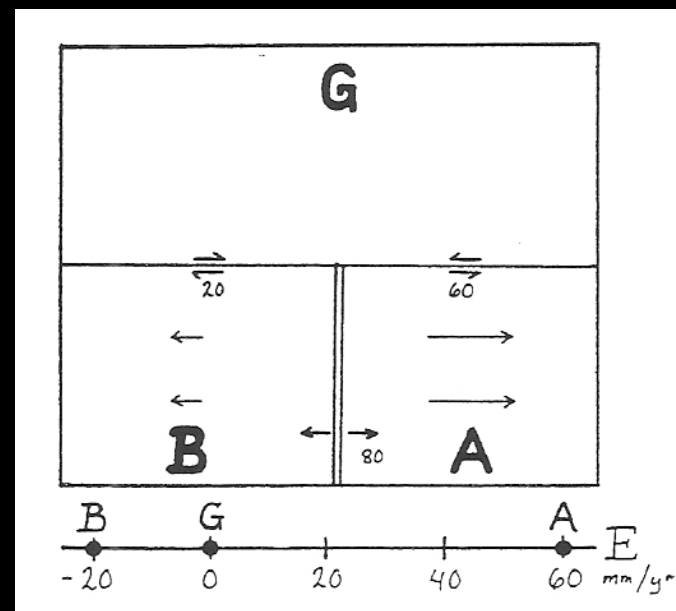
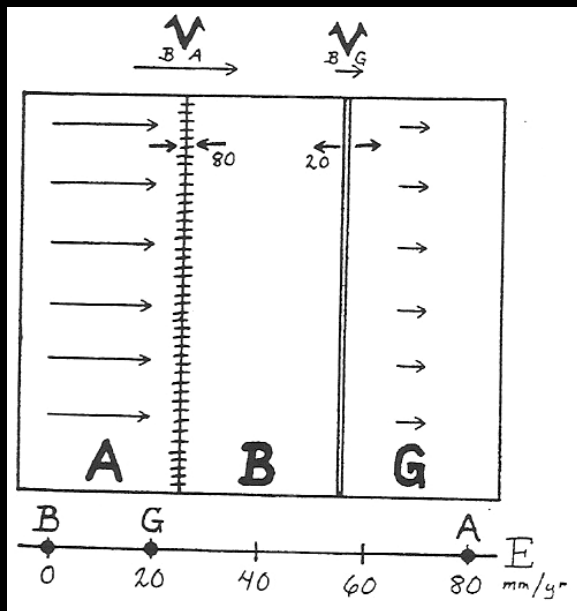
# Placa de referência

Mais uma vez, é só adicionar a velocidade relativa entre os sistemas de referência em todas as placas.



# Velocidades e bordas

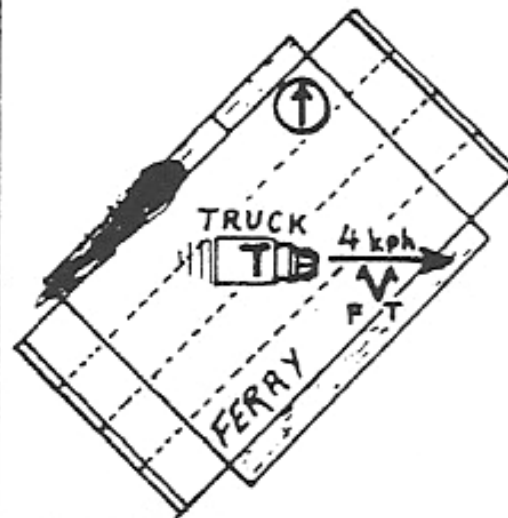
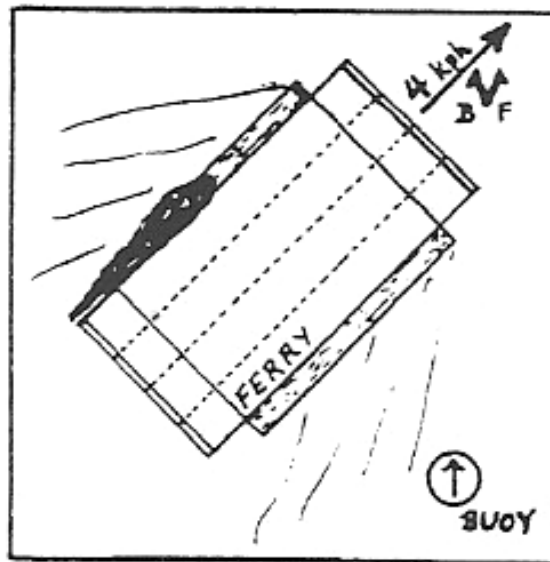
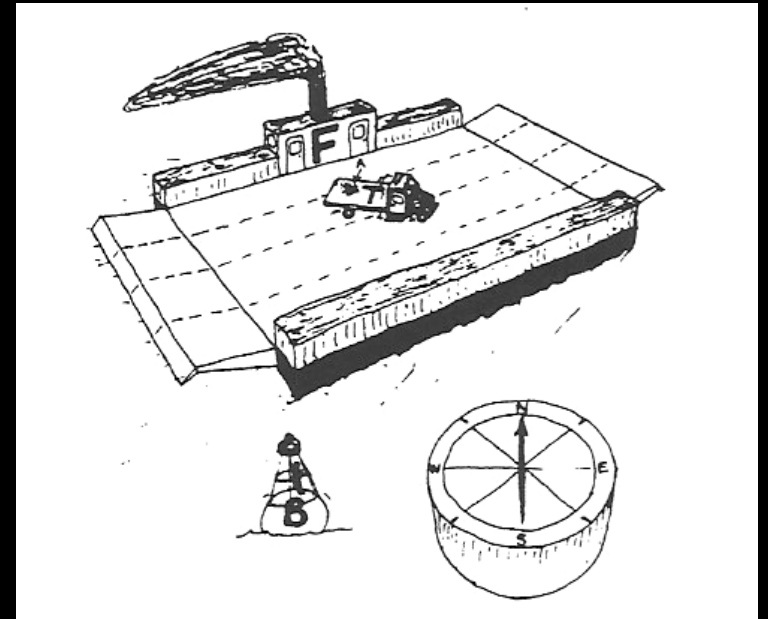
En função de como as placas estão arranjadas, as bordas mudam.



Mas o diagrama de velocidades fica sem mudanças.

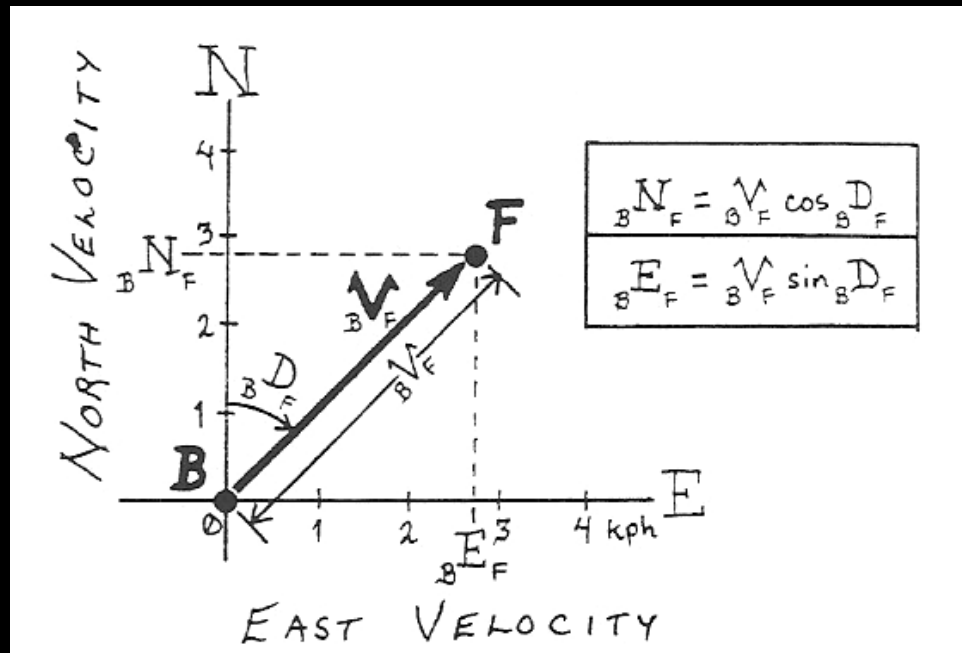
## Caso 2D

Vamos considerar o caso de uma tartaruga, acima de um caminhão, acima de uma balsa



# Coordenadas polares/cartesianas

No caso 2D precisamos de **vetores**. Eles podem ser representados de duas formas:

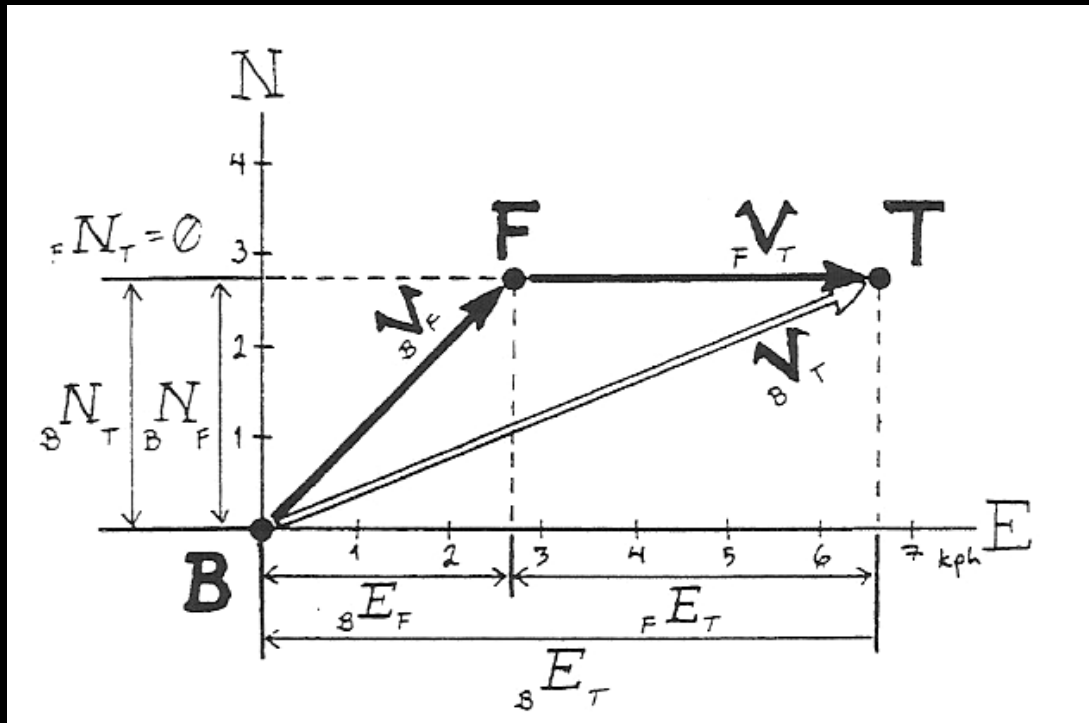


$$\begin{aligned} {}_B V_F &= \sqrt{{}_B N_F^2 + {}_B E_F^2} \\ {}_B D_F &= \tan^{-1} ({}_B E_F / {}_B N_F) \end{aligned}$$



# Adição de vetores

Os vetores podem ser adicionados como indicado no diagrama abaixo



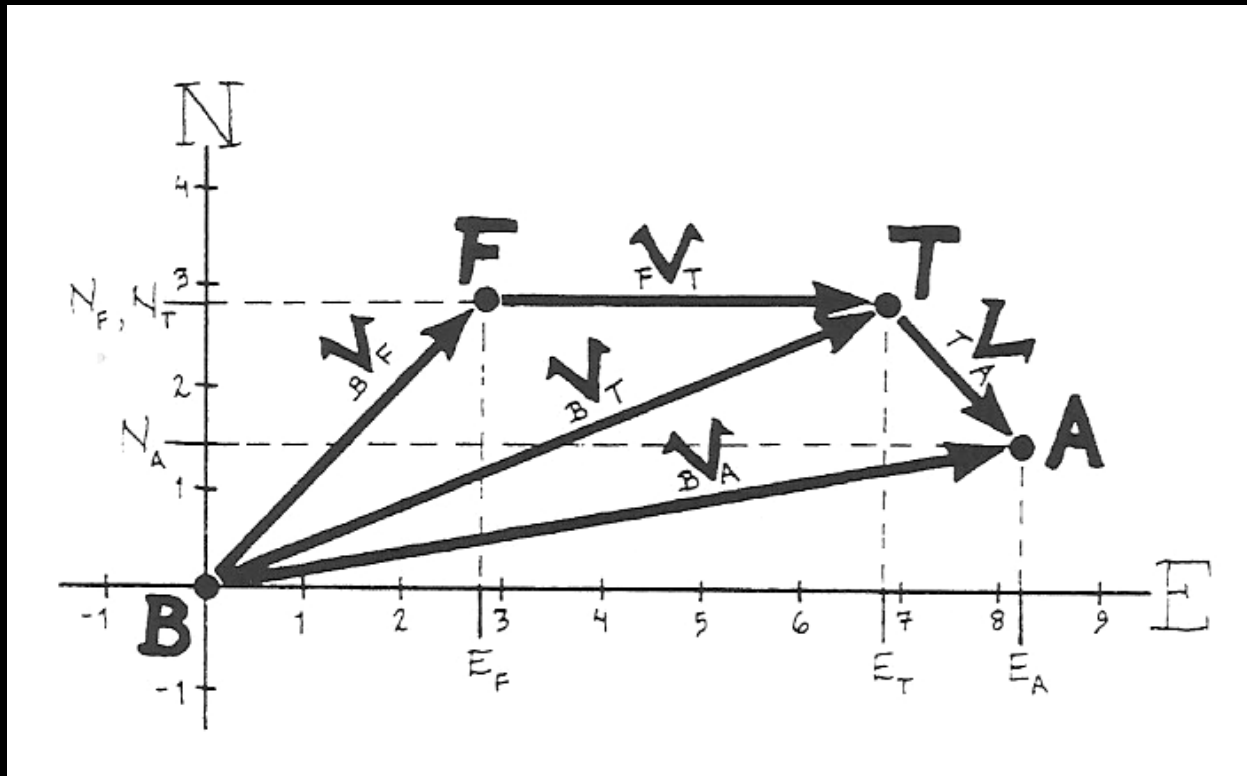
$${}_B N_T = {}_B N_F + {}_F N_T$$

$${}_B E_T = {}_B E_F + {}_F E_T$$

$${}_B \vec{V}_T = {}_B \vec{V}_F + {}_F \vec{V}_T$$

# Diagrama de velocidades

O caso de uma tartaruga, acima de um camião, acima de uma balsa tem um diagrama de velocidades



# Cálculo da velocidade relativa

2. Plot **F** at coordinates  $(N_F, E_F)$  to show that F is moving in a northeastward direction from B at 4 kph.

$$N_F = {}_B N_F = 4 \cos 45^\circ = 2.82 \text{ kph}$$

$$E_F = {}_B E_F = 4 \sin 45^\circ = 2.82 \text{ kph}$$

3. Plot **T** 4 velocity units to the east of **F** to show that as viewed from the ferry the truck is moving eastward at 4 kph.

$$N_T = N_F + {}_F N_T = 2.82 + 0.00 = 2.82 \text{ kph}$$

4. Plot **A** 2 velocity units southeastward from **T**.

$$N_A = N_T + {}_T N_A = 2.82 - 1.41 = 1.41 \text{ kph}$$

$$E_A = E_T + {}_T E_A = 6.82 + 1.41 = 8.23 \text{ kph}$$

5. To find the velocity  ${}_F \mathbf{V}_A$  of Alice relative to the ferry, first read the velocity coordinates of Alice,  $(N_A, E_A) = (1.41, 8.23)$ ; second read the velocity coordinates of the ferry,  $(N_F, E_F) = (2.82, 2.82)$ . Then

$${}_F N_A = N_A - N_F = 1.41 - 2.82 = -1.41 \text{ kph}$$

$${}_F E_A = E_A - E_F = 8.23 - 2.82 = 5.41 \text{ kph}$$

$${}_F V_A = \sqrt{{}_F N_A^2 + {}_F E_A^2} = \sqrt{(-1.41)^2 + 5.41^2} = 5.6 \text{ kph}$$

$${}_F D_A = \tan^{-1} ({}_F E_A / {}_F N_A) = \tan^{-1} (5.41 / -1.41) = 104.6^\circ$$

# Cálculo da velocidade relativa

$${}_B\mathbf{V}_A = {}_B\mathbf{V}_F + {}_F\mathbf{V}_T + {}_T\mathbf{V}_A$$

Vector	North	East
Description	Velocity	Velocity
${}_B\mathbf{V}_F$	2.82 kph	2.82 kph
${}_F\mathbf{V}_T$	0.00 kph	4.00 kph
${}_T\mathbf{V}_A$	-1.41 kph	1.41 kph
<hr/>		
${}_B\mathbf{V}_A$	1.41 kph	8.23 kph

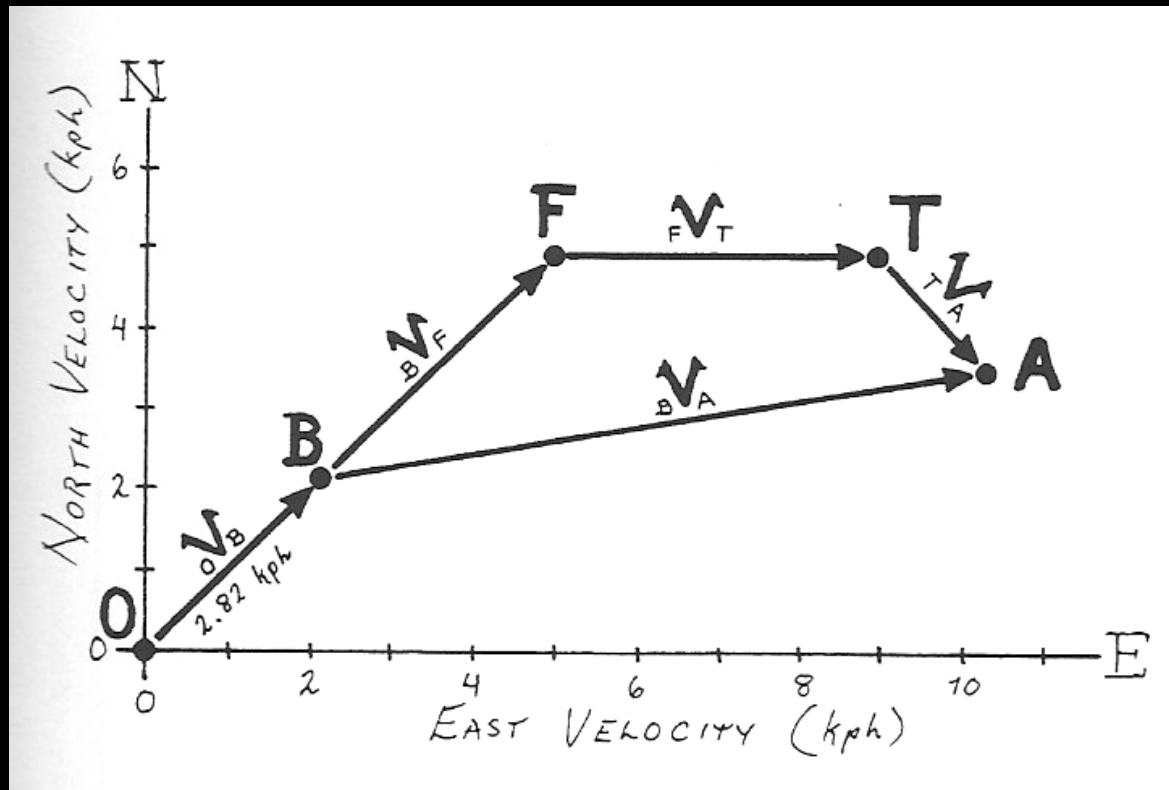
$${}_B V_A = \sqrt{{}_B N_A^2 + {}_B E_A^2} = \sqrt{1.41^2 + 8.23^2} = 8.35 \text{ kph}$$

$${}_B D_A = \tan^{-1} ({}_B E_A / {}_B N_A) = \tan^{-1} (8.23/1.41) = 80.3^\circ$$



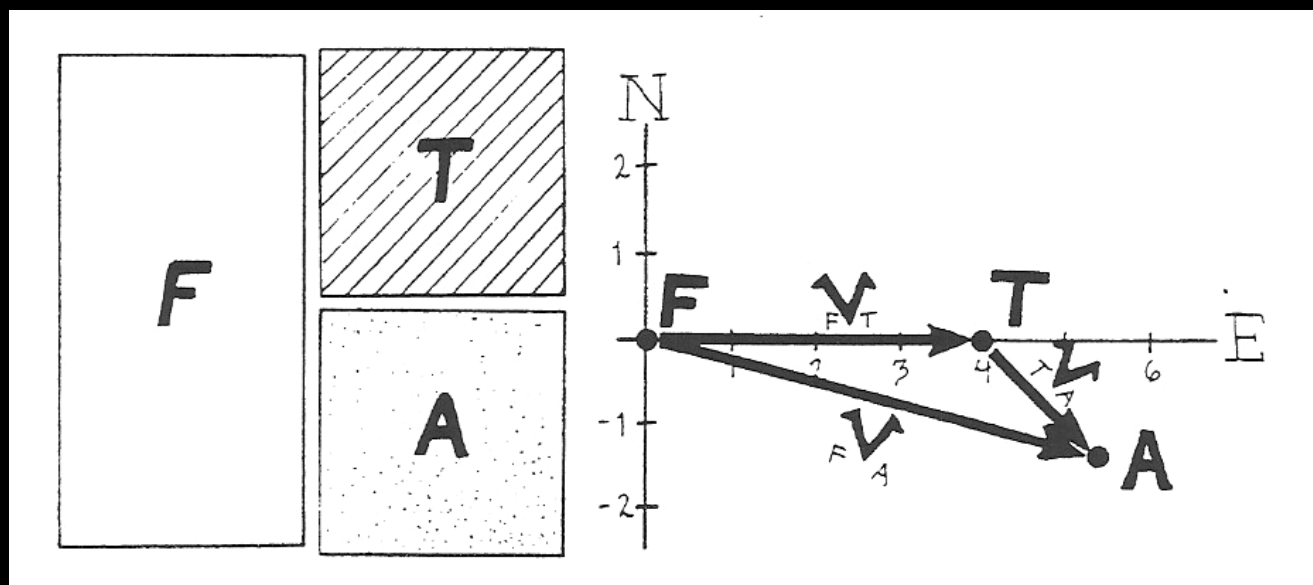
# Mudança do sistema de referência

Vamos supor que há uma corrente oceânica de 2.82 km/h relativa ao assoalho oceânico e de direção NE,



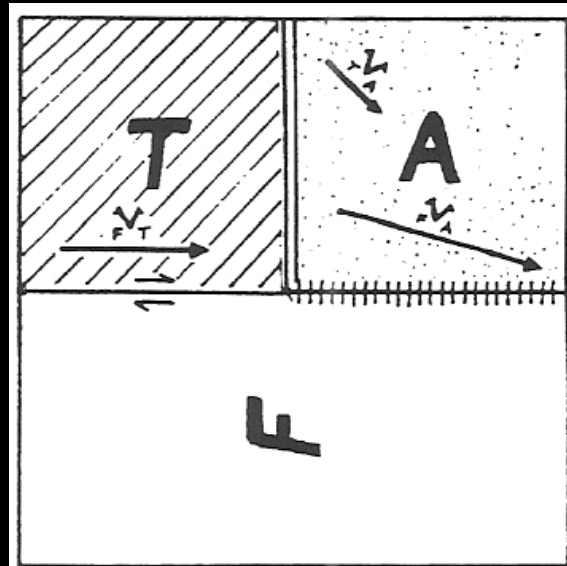
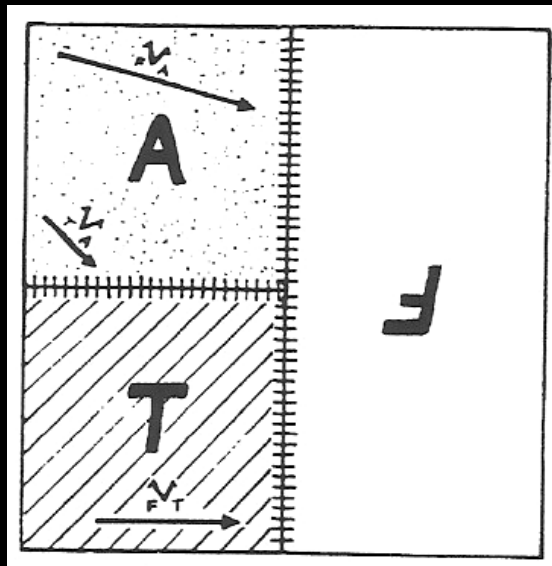
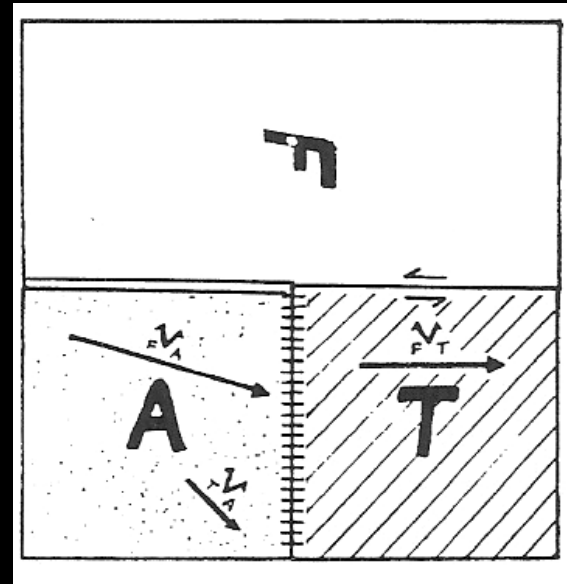
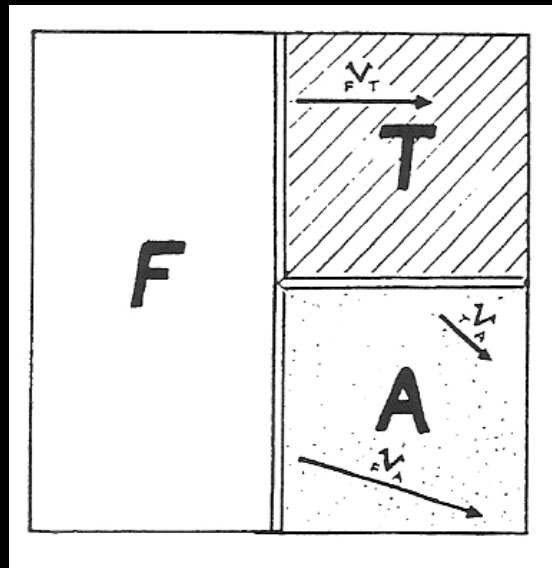
# Cinemática das placas (I)

Vamos considerar o diagrama de velocidades para um sistema de 3 placas:



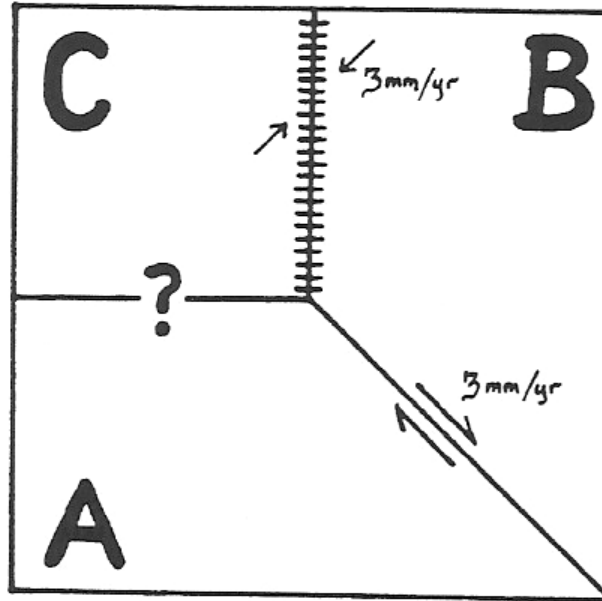
Determinar os tipos das bordas consistentes com o diagrama.

# Soluções



# Cinemática das placas (II)

## The Problem

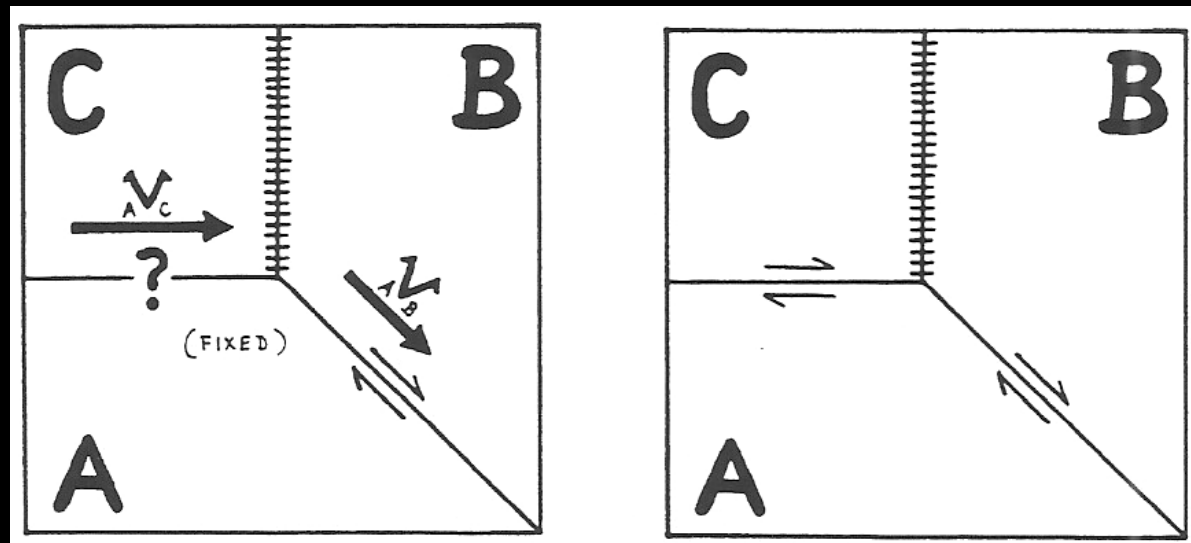
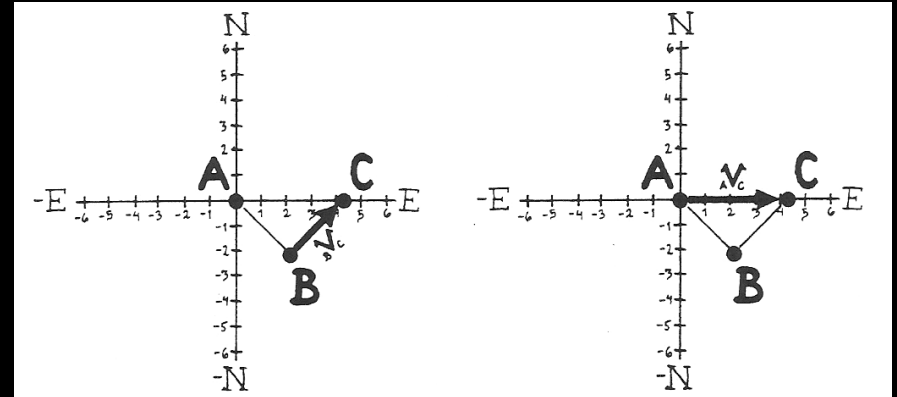
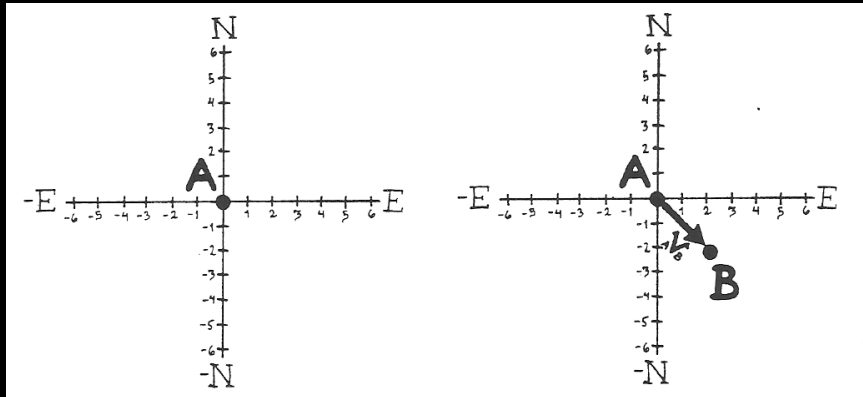


The AB boundary is a transform with right-lateral movement of  $3 \text{ mm/yr}$ . The BC boundary is a trench along which convergence is occurring obliquely at an angle  $45^\circ$  east of north.

1. Plot the motion of A, B, and C in velocity space.
2. Holding plate A fixed, plot the vectors on plates B and C showing their velocities relative to plate A.
3. Decide whether the boundary between plates A and C is a ridge, trench, or transform.
4. Find  ${}_A\mathbf{V}_C$ .

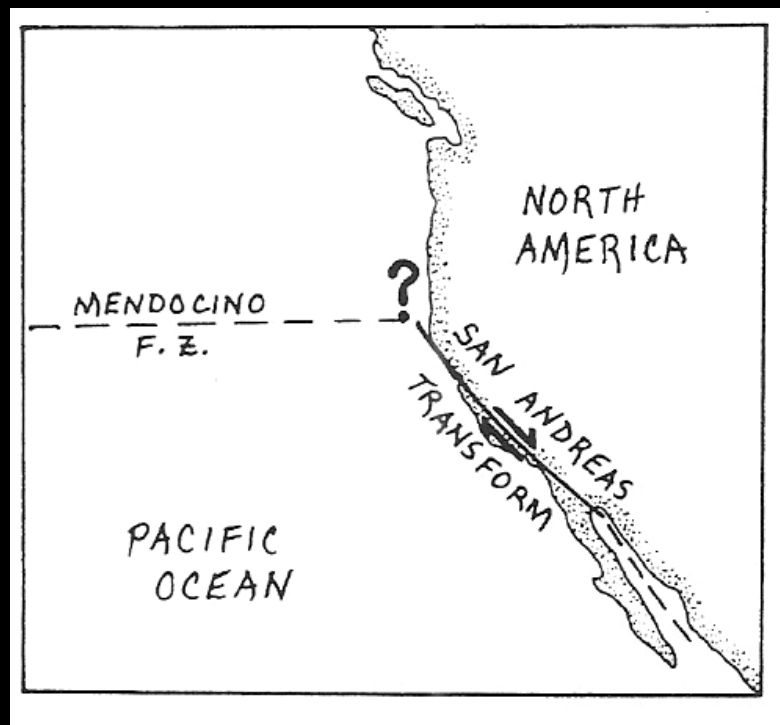


# Solução



# Juan de Fuca

A primeira aplicação dos diagramas de velocidade a um problema real levou ao descobrimento de uma placa nova.



Onde fica o extremo NW da falha de San Andres?

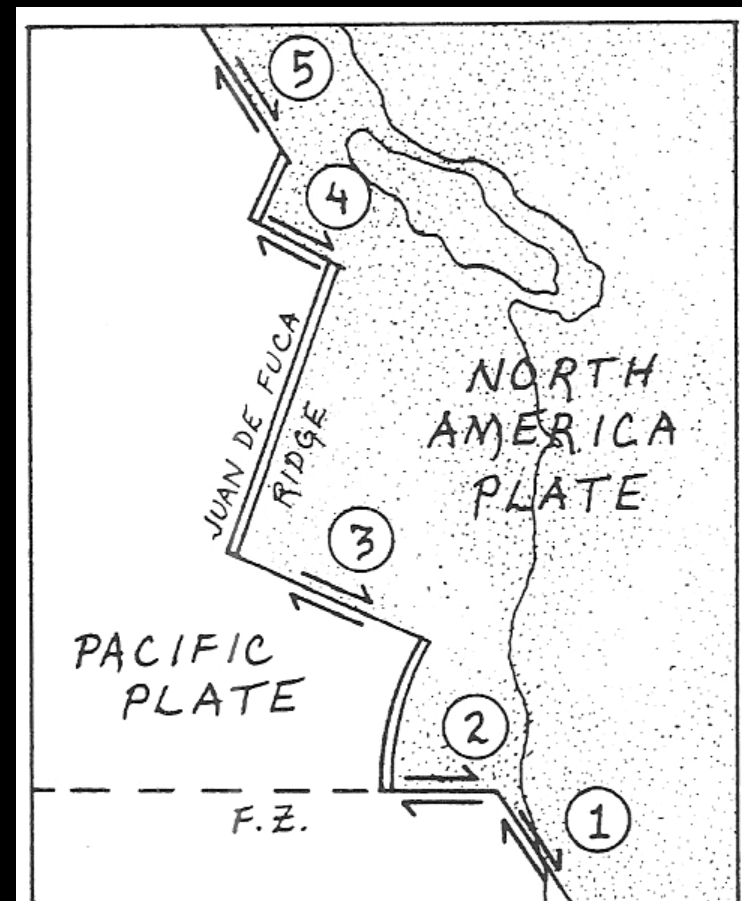
- Coincide com a extremo de uma zona de fratura.
- Esse extremo é sismicamente ativo.

# A dorsal de Juan de Fuca

Um primeiro avanço foi quando estudos geofísicos nos anos 60 revelaram expansão ao longo da dorsal de Juan de Fuca.

A dorsal simplesmente separa a placa Norte-americana da Pacífica?

Problema:



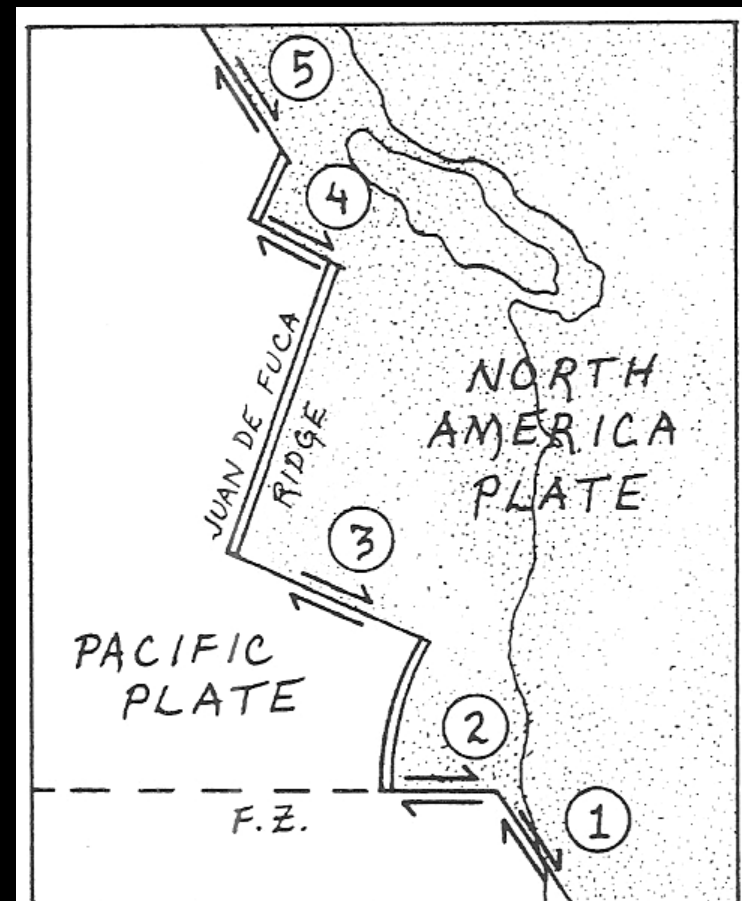
# A dorsal de Juan de Fuca

Um primeiro avanço foi quando estudos geofísicos nos anos 60 revelaram expansão ao longo da dorsal de Juan de Fuca.

A dorsal simplesmente separa a placa Norte-americana da Pacífica?

**Problema:**

As falhas transformantes não são paralelas.



# A placa de Juan de Fuca (?)

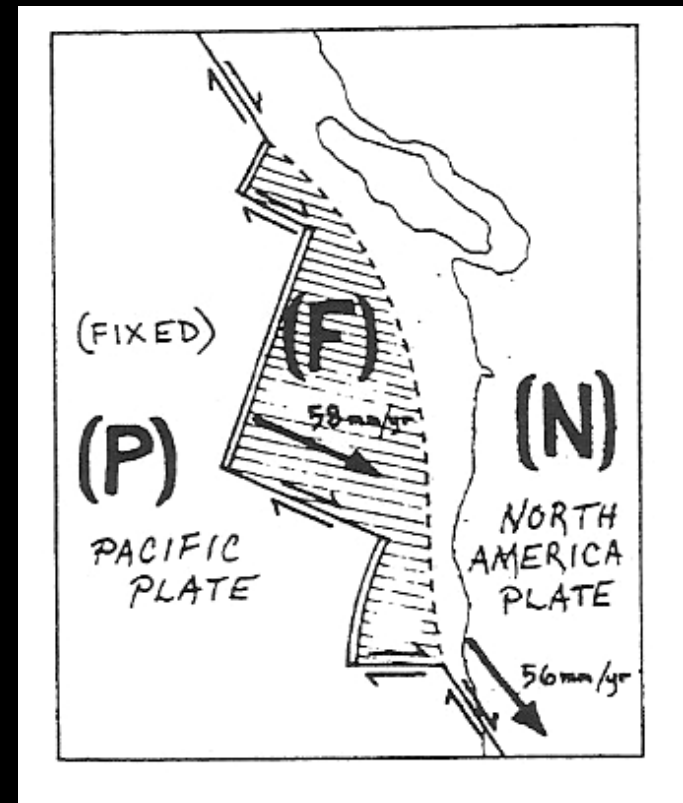
Como isso não batia com a tectônica de placas, os cientistas começaram a acreditar que

Pode ser que exista uma placa nova entre a Norte-americana e a Pacífica

**Sim, mas ...**

As falhas transformantes são paralelas\*

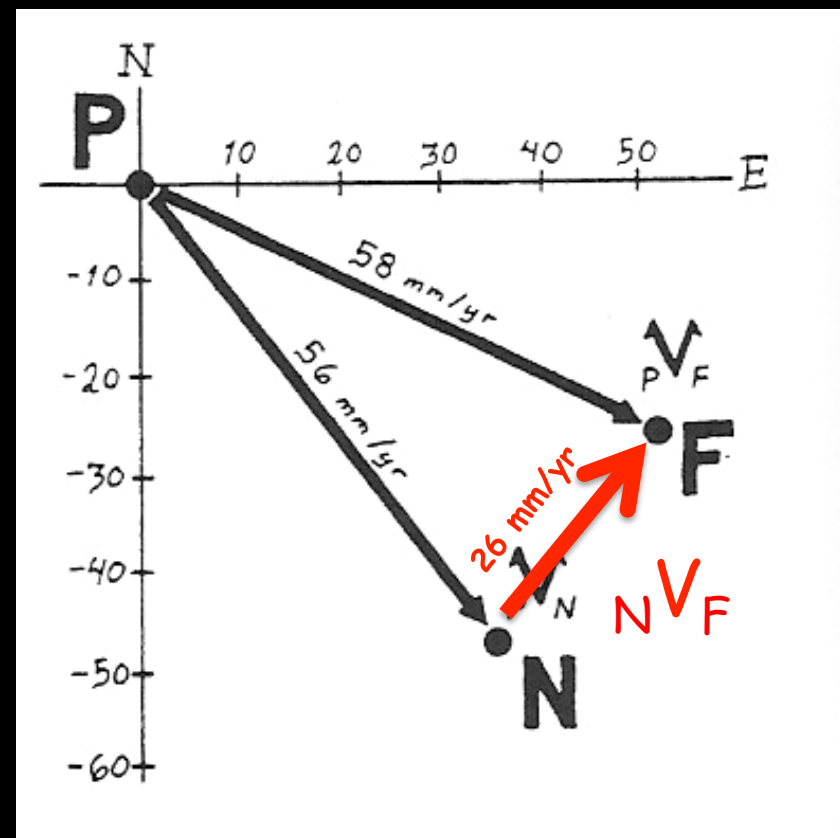
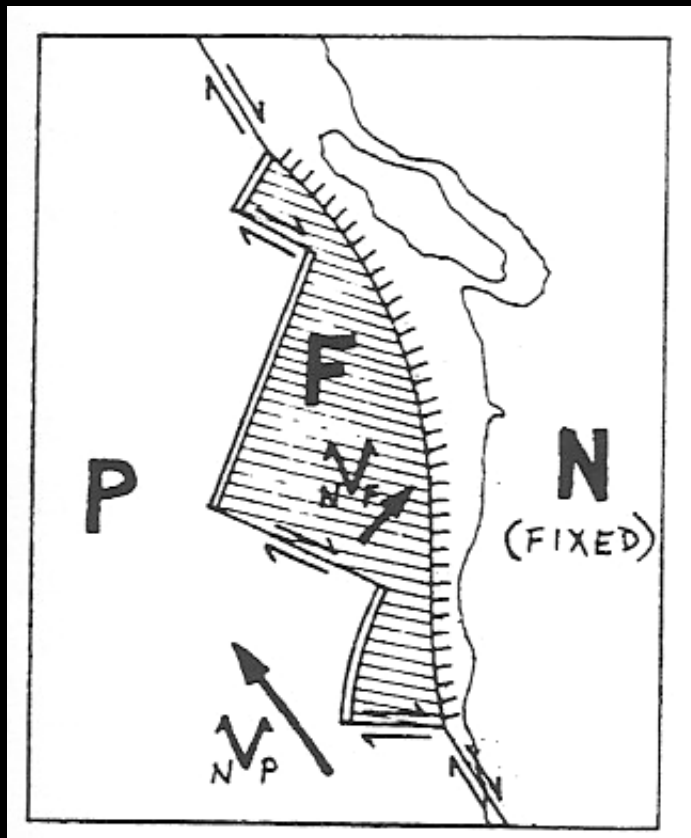
Qual o tipo de borda entre Fuca e Norteamerica?





# Diagrama de velocidades

O diagrama de velocidades revelou que devia ser uma borda convergente.



# Problemas

A proposta de subducção ao longo da borda NW da América do Norte não foi bem aceita:

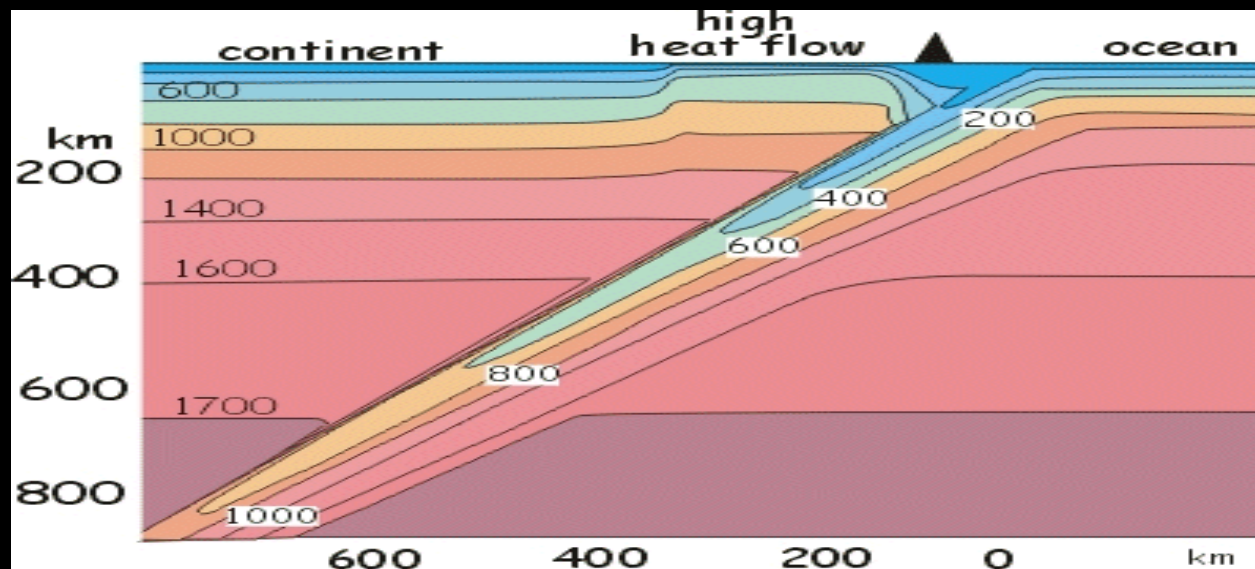
- A batimetria não mostrava uma fossa
- Não há uma zona de Wadati-Benioff
- Os sedimentos não mostravam dobras

Por outro lado,

- Há uma linha de vulcões
- O vulcanismo é andesítico.

## Soluções

A subducção da placa de Juan de Fuca é especialmente lenta, pelo que a placa esquenta e se torna plástica.



Novos levantamentos mostraram que há deformação dos sedimentos.