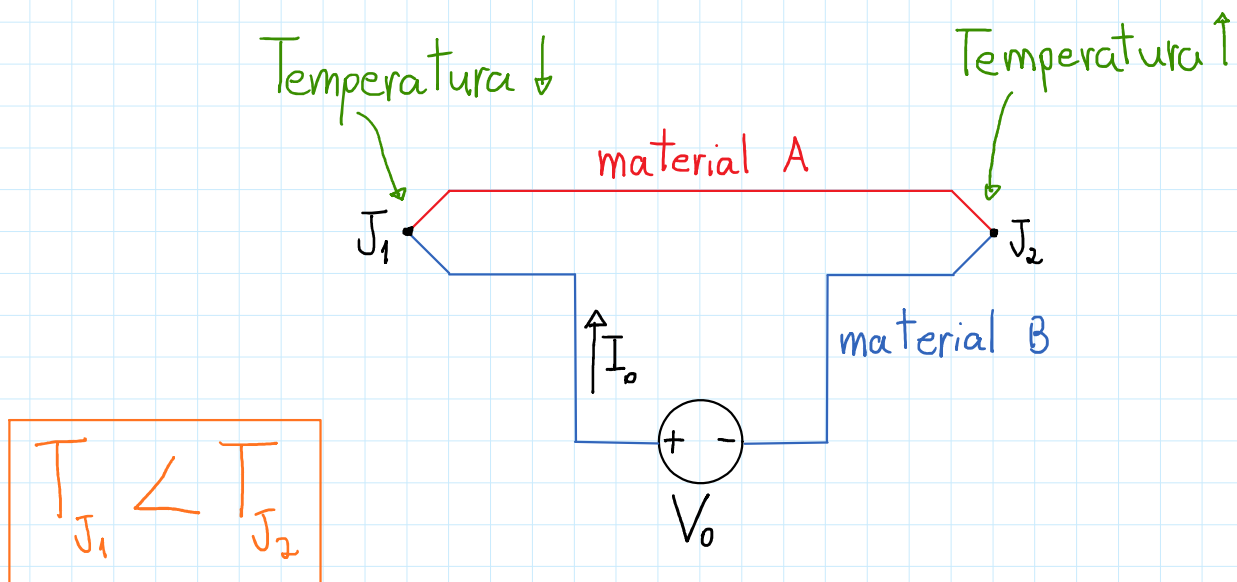
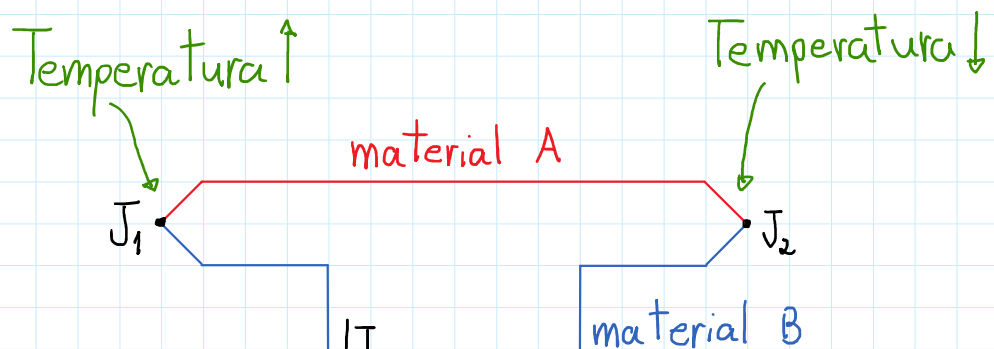


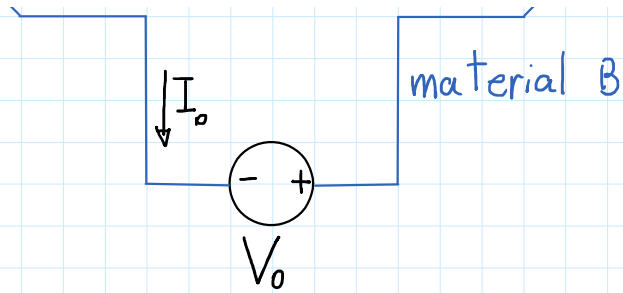
Efeito Peltier



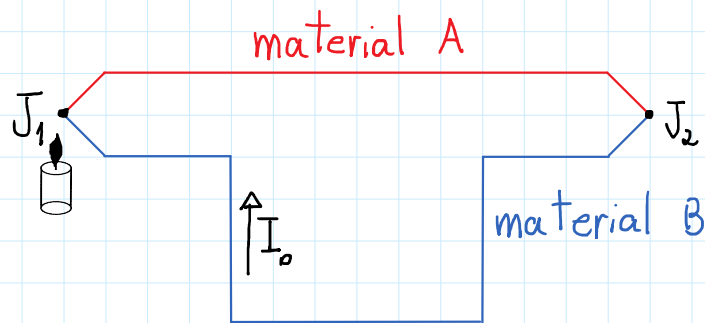
Invertendo o sentido da corrente



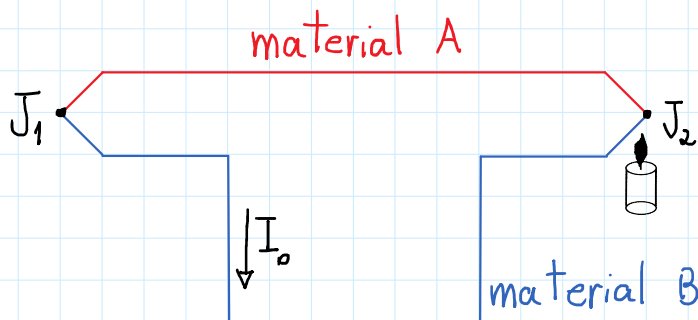
$$T_{J_1} > T_{J_2}$$



Efeito Seebeck



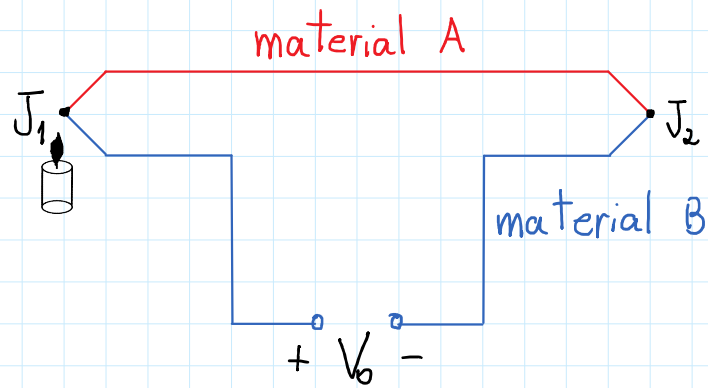
$$T_{J_1} > T_{J_2}$$



$$T_{J_1} < T_{J_2}$$

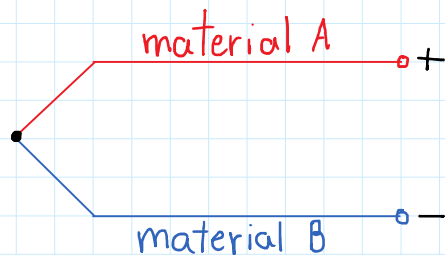
Se o circuito for aberto, existirá

uma d.d.p. entre os terminais, a qual dependerá da diferença $T_{J_1} - T_{J_2}$



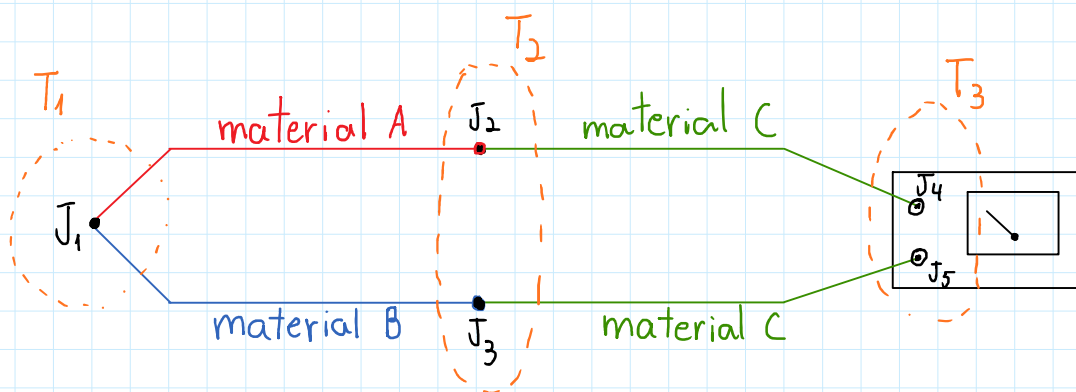
V_0 depende de $T_{J_1} - T_{J_2}$

O termopar é construído com uma junção, envolvendo dois materiais



Um dos materiais é indicado com + (potencial positivo) e o outro com - (potencial negativo).

Caso 1 - conectar o voltímetro usando fio com material diferente de A-B.



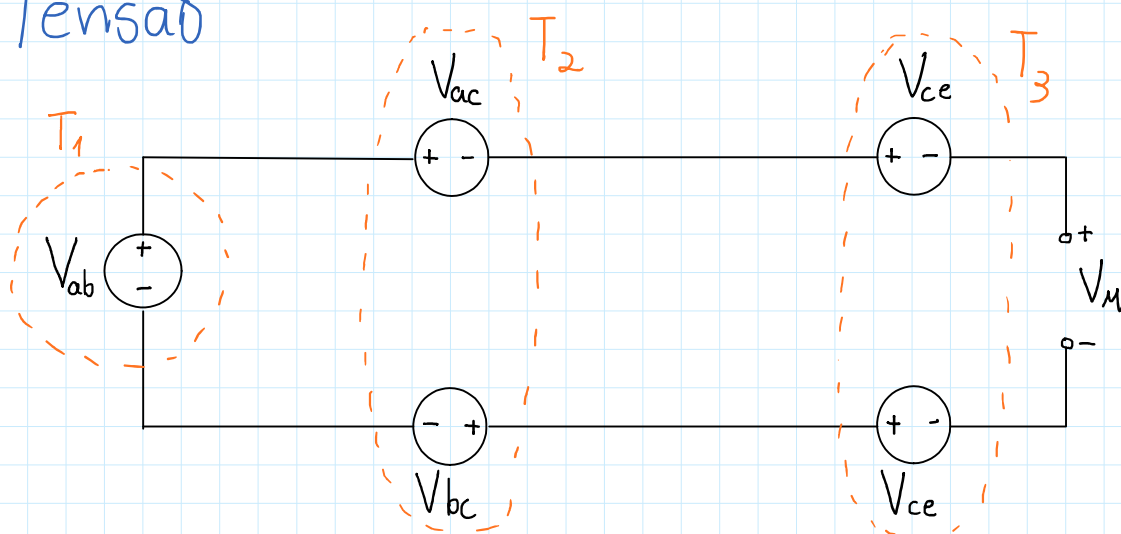
Vamos considerar que no interior do voltímetro temos o material E.
Como J_4 e J_5 envolvem os mesmos

materiais (C-E e E-C) e estão sob a mesma temperatura (T_3), as tensões geradas em J_4 e J_5 se cancelam.

Dessa forma, a tensão lida pelo voltímetro depende somente de $T_1 - T_2$.

Verificar as leis envolvidas na análise de termopares → documento disponível no Moodle

Uma forma conveniente de analisar circuitos com termopares é substituir cada junção por uma fonte de tensão



$$\sum K T: -V_1 + V_1 + V_1 + V_1$$

$$\text{LKT: } -V_{ab}|_{T_1} + V_{ac}|_{T_2} + V_{ce}|_{T_3} + V_M$$

$$-V_{ce}|_{T_3} + V_{bc}|_{T_2} = 0$$

$$\rightarrow V_M = V_{ab}|_{T_1} - (V_{ac} + V_{bc})|_{T_2}$$

Lei do metal intermediário:

$$(V_{ac} + V_{bc})|_{T_2} = V_{ab}|_{T_2}$$

$$V_M = V_{ab}|_{T_1} - V_{ab}|_{T_2}$$

\rightarrow Tensão medida tem relação com a diferença $T_1 - T_2$

Para determinar T_1 , é necessário somar $V_{ab}|_{T_2}$ à tensão medida V_M

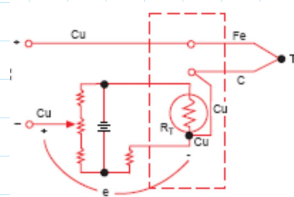
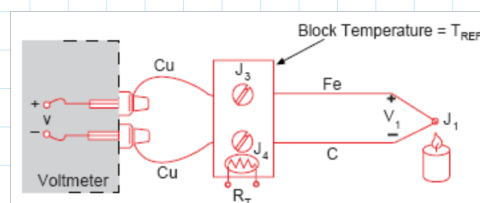
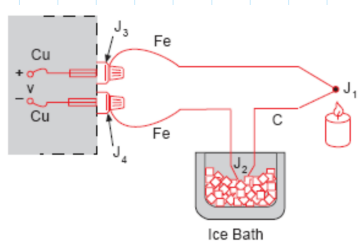
$$V_M = V_{ab}|_{T_1} - V_{ab}|_{T_2}$$

$$\rightarrow \boxed{V_M + V_{ab}|_{T_2} = V_{ab}|_{T_1}}$$

$$V_M + V_{ab}|_{T_2} = V_{ab}|_{T_1}$$

↳ compensação da junção de referência
Essa compensação pode ser feita conhecendo $T_2 \rightarrow$ medição com outro sensor.

Essa compensação pode ser feita via software ou usando um circuito eletrônico \rightarrow "gelo eletrônico"



Para determinar a temperatura a partir da tensão medida, é necessário conhecer a equação do termopar em questão

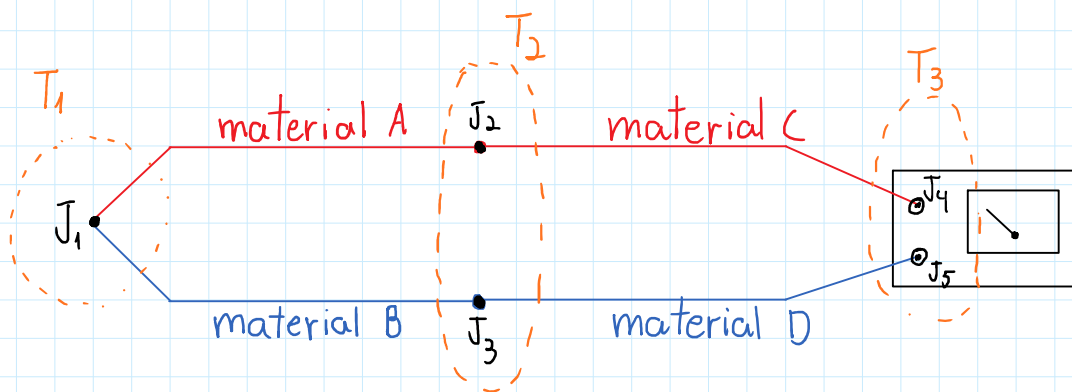
Equação muda para cada tipo de termopar (T, J, E, K, S, R, B, N, T)

Padrão ITS-90

$$T = d_0 + d_1 V + d_2 V^2 + d_3 V^3 + \dots d_N V^N$$

Temperature Range: Voltage Range:	Type K Thermocouples Coefficients in mV		
	-200 °C to 0 °C -5.891 mV to 0 mV	0 °C to 500 °C 0 mV to 20.644 mV	500 °C to 1372 °C 20.644 mV to 54.886 mV
$d_0 =$	0.000000×10^0	0.000000×10^0	-1.318058×10^{-2}
$d_1 =$	2.5173462×10^1	2.508355×10^1	4.830222×10^1
$d_2 =$	-1.1662878×10^0	7.860106×10^{-2}	-1.646031×10^0
$d_3 =$	-1.0833638×10^0	-2.503131×10^{-1}	5.464731×10^{-2}
$d_4 =$	$-8.9773540 \times 10^{-1}$	8.315270×10^{-2}	-9.650715×10^{-4}
$d_5 =$	$-3.7342377 \times 10^{-1}$	-1.228034×10^{-2}	8.802193×10^{-6}
$d_6 =$	$-8.6632643 \times 10^{-2}$	9.804036×10^{-4}	-3.110810×10^{-8}
$d_7 =$	$-1.0450598 \times 10^{-2}$	-4.413030×10^{-5}	
$d_8 =$	$-5.1920577 \times 10^{-4}$	1.057734×10^{-6}	
$d_9 =$		-1.052755×10^{-8}	
Error Range:	-0.02 °C to 0.04 °C	-0.05 °C to 0.04 °C	-0.05 °C to 0.06 °C

Caso 2- conectar o voltímetro usando fios com as mesmas características termoeletricas do par A-B



Se C for o mesmo material de A, então é um fio de extensão

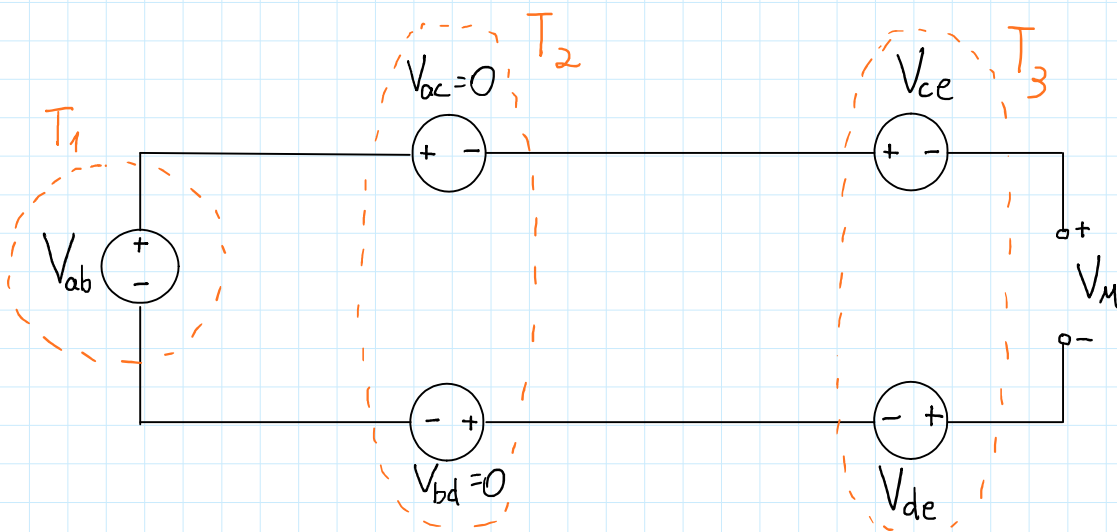
Se C for construído com material diferente de A, mas com as mesmas características termoeletricas de A (na faixa de T_2), então C é um fio de compensação

Em ambos os casos, não ocorre efeito Seebeck em J_2

↳ J_2 virtualmente não existe

A mesma ideia se aplica aos materiais B e D

↳ J_3 virtualmente não existe



$$LKT: V_M = V_{ab} \Big|_{T_1} - (V_{bc} + V_{de}) \Big|_{T_2}$$

$$\hookrightarrow \text{R\&I: } V_M = V_{ab}|_{T_1} - (V_{ce} + V_{de})|_{T_3}$$

$V_{ce} + V_{de} = V_{cd} = V_{ab}$ (C-D) com as mesmas características termoeletricas de A-B)

$$\hookrightarrow V_M = V_{ab}|_{T_1} - V_{ab}|_{T_3}$$

\hookrightarrow Depende de $T_1 - T_3$
e não de $T_1 - T_2$

Vantagem: T_3 é a temperatura em um ambiente controlado, local do instrumento de medição.

T_2 é a temperatura próxima do processo, tipicamente no cabeçote do termopar \rightarrow ambiente não controlado