



Riciêri Martins – ricierimartins@gmail.com  
 Wislei R. Osório – wislei@fem.unicamp.br  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
 FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS LIMEIRA, SP, BRASIL



Agência Financiadora: Pibic/CNPq

Palavras-Chave: Solidificação – Propriedade Mecânica - Ligas Pb-Bi

## 1. Introdução

A formação macroestrutural e a formação microestrutural das ligas metálicas influenciam na resistência mecânica e à corrosão. Diversos fatores interferem na formação das estruturas metálicas, como as condições de vazamento do metal líquido, a taxa de resfriamento, as propriedades químicas e termofísicas do metal e propriedades do sistema de solidificação (Peixoto, 2010; Osório 2010). A alteração dos espaçamentos celulares ou dendríticos provoca mudança nas propriedades mecânicas dos materiais. Os espaçamentos podem ser relacionados à taxa de resfriamento do material. Desta forma, é possível correlacionar a taxa de resfriamento de uma liga à uma determinada propriedade mecânica. Esta correlação torna-se importante para os produtores de baterias do tipo ácido-chumbo visto que é possível prever a propriedade mecânica desejada alterando parâmetros de fabricação.

## 2. Metodologia

Para a realização dos experimentos primeiramente separou-se e cortou-se os metais puros, fez-se o cálculo e a pesagem para a produção das ligas Pb-1,0% Bi e Pb-2,4% Bi. Após a separação dos metais, os mesmos foram colocados em um cadinho de carboneto de silício revestido com alumina e levados ao forno tipo mufla para a fundição e homogeneização da liga.

Ao terminar o processo de fusão e homogeneização da liga, verteu-se a mesma em quantidade suficiente em uma lingoteira preparada com termopares dispostos verticalmente, que encontrava-se montada em um dispositivo de solidificação unidirecional. A utilização do dispositivo de solidificação unidirecional é utilizado, pois, a extração de calor ocorre somente pela chapa molde (parte inferior da lingoteira), onde é aplicado água. Este dispositivo permite que a taxa de resfriamento da liga na mesma lingoteira seja diferente. Após a liga atingir a temperatura desejada, ligou-se o dispositivo de resfriamento unidirecional.

Após a solidificação, serrou-se a liga verticalmente, preparou-a adequadamente e atacou-a de forma a revelar a macroestrutura. (Figura 1). Uma outra parte da liga foi utilizada para a obtenção das microestruturas. (Figura 2).

Uma terceira parte foi utilizada para a confecção de amostras normatizadas segundas às normas NBR 6152 (2002) e ASTM-8M (2004) para a realização de ensaios de tração.

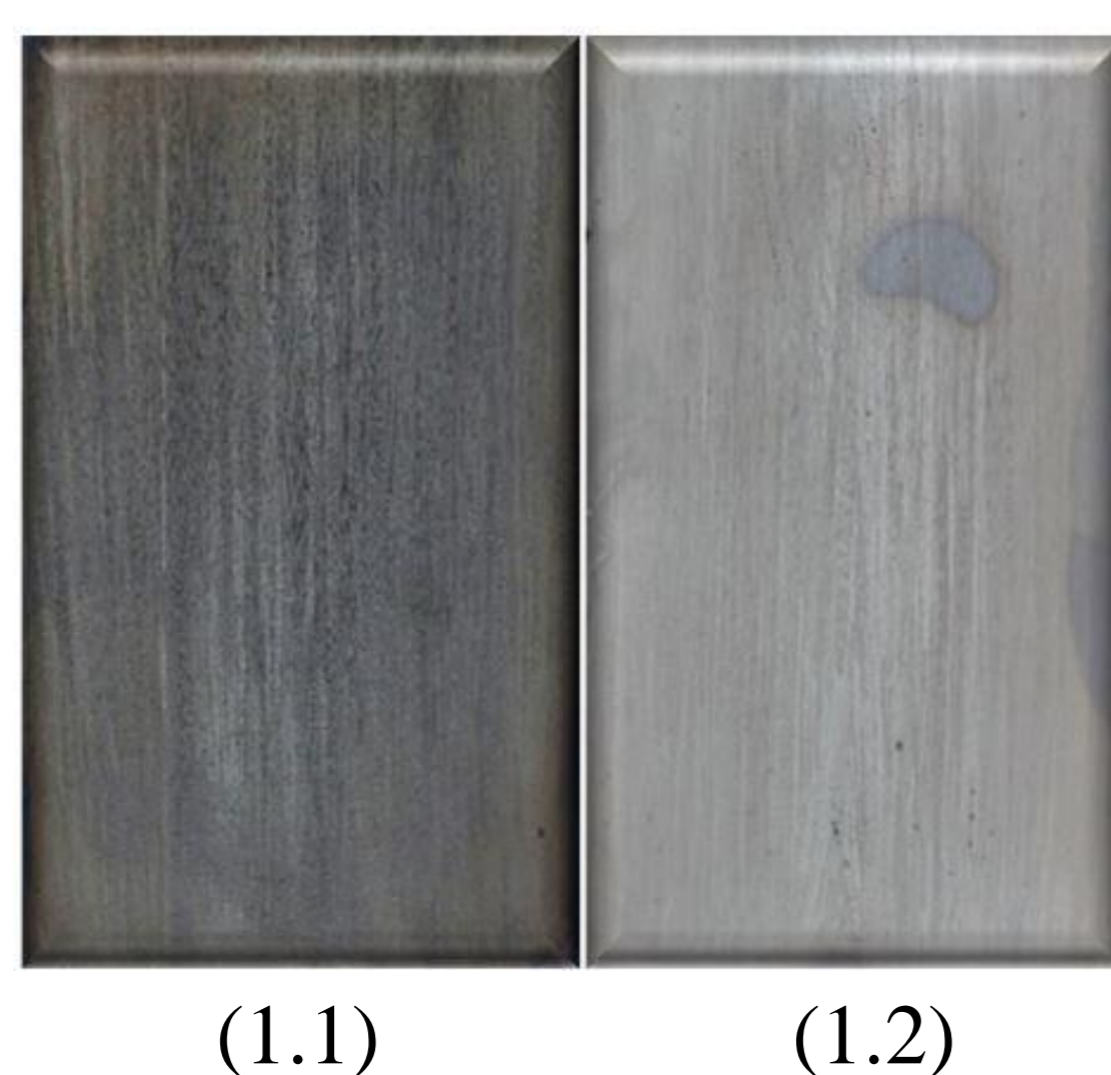


Figura 1 – Macroestruturas das ligas: (1.1) Pb-1,0% Bi e (1.2) Pb-2,4% Bi

## 3. Resultados e Discussão

Observa-se na figura 1 que a macroestrutura apresenta grãos colunares alinhados paralelamente e alongados no sentido do fluxo de calor, comprovando a extração direcional do fluxo de calor.

A figura 2 apresenta a relação entre o espaçamento celular ( $\lambda_c$ ) em função da posição (P) de onde a amostra foi retirada (em relação à chapa-base).

A proximidade da amostra com a chapa-base faz com que a taxa de resfriamento aumente. Desta forma, amostras mais distantes da chapa-base levam mais tempo para se solidificarem.

O espaçamento celular diminui com o aumento da taxa de resfriamento (Figura 3).

O Limite de resistência à tração aumenta com a diminuição do espaçamento celular, equanto o alongamento específico permanece muito próximo a uma constante. (Tabela 1).

O comportamento do limite de escoamento permanece constante com a variação da taxa de resfriamento.

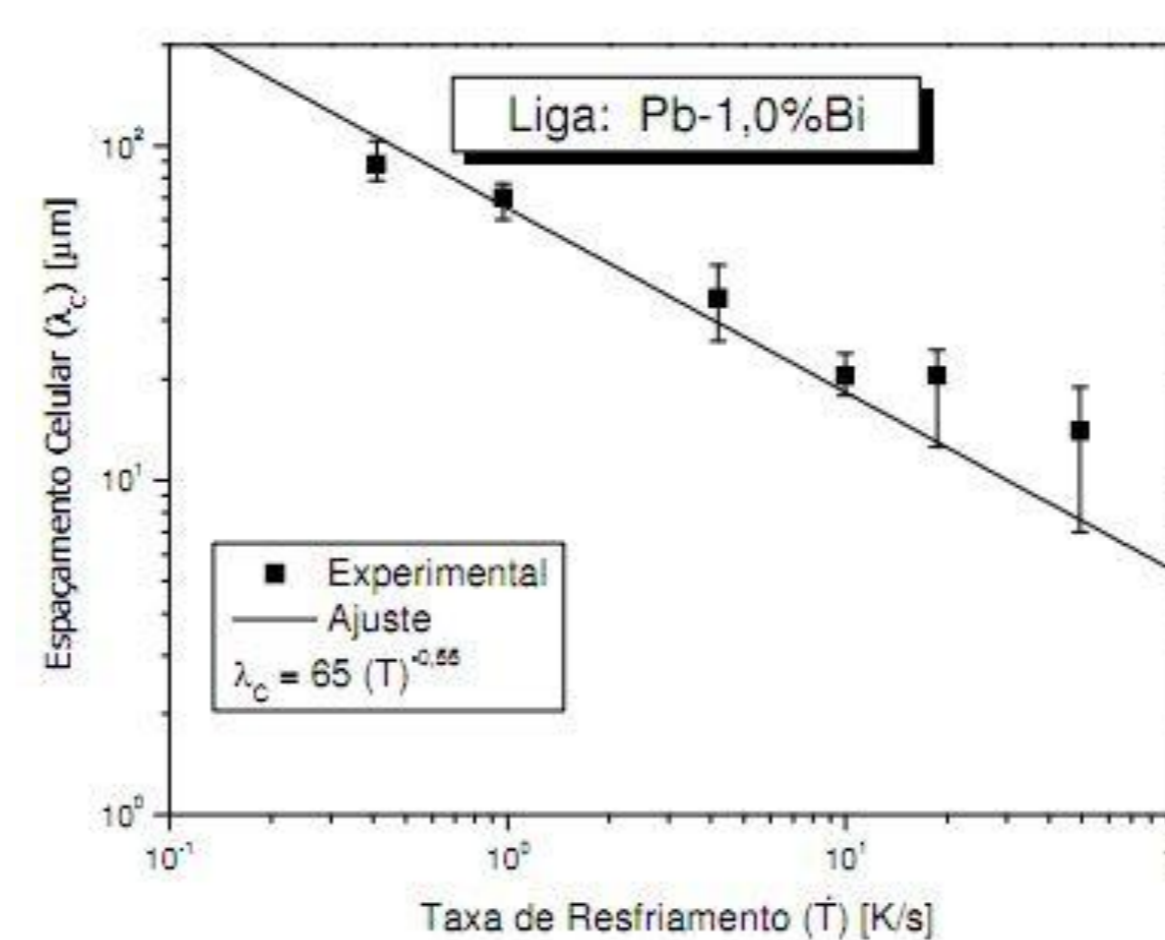


Figura 3.1 – Espaçamento celular em função da taxa de resfriamento da liga Pb-1,0% Bi

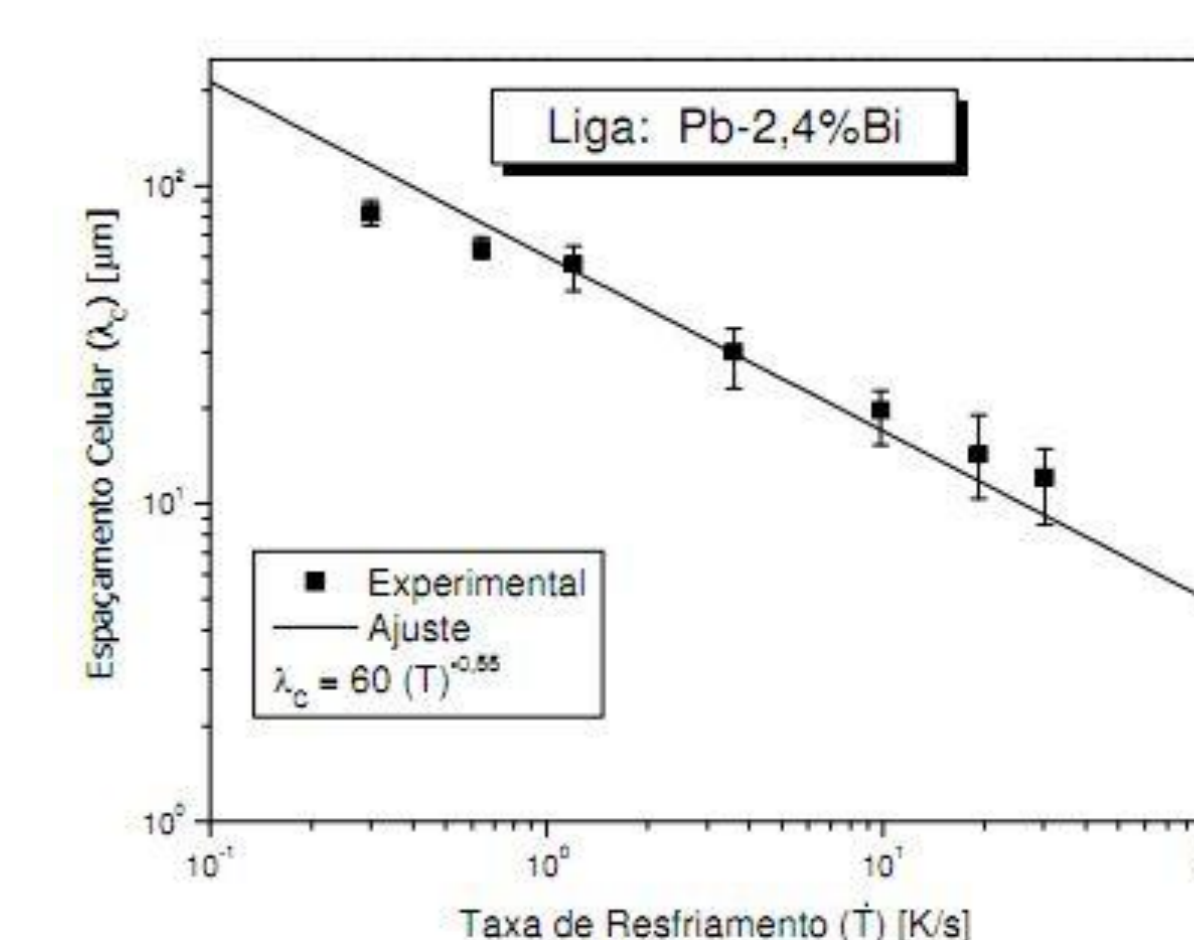


Figura 3.2 – Espaçamento celular em função da taxa de resfriamento da liga Pb-2,4% Bi

Propriedades mecânicas de Pb-1,0%Bi		
Posições	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento específico (%)
P1 (7 mm)	15,5 (± 3,0)	33
P2 (21 mm)	14,0 (± 2,0)	35
P3 (35 mm)	13,5 (± 1,0)	38
P4 (49 mm)	12,7 (± 2,5)	38
P5 (63 mm)	12,5 (± 1,5)	36

Tabela 1.1 – Limite de resistência à tração e alongamento específico em relação à posição da liga Pb-1,0% Bi

Propriedades mecânicas de Pb-2,4%Bi		
Posições	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento específico (%)
P1 (7 mm)	16,2 (± 1,5)	35
P2 (21 mm)	15,8 (± 2,0)	34
P3 (35 mm)	14,7 (± 2,0)	35
P4 (49 mm)	14,3 (± 3,0)	35
P5 (63 mm)	14,2 (± 2,0)	35

Tabela 1.2 – Limite de resistência à tração e alongamento específico em relação à posição da liga Pb-2,4% Bi

## 4. Conclusão

Comprovou-se que o aumento da taxa de resfriamento implica na diminuição do espaçamento celular.

Evidenciou-se que a diminuição dos espaçamentos celulares implicou em aumento do limite de resistência a tração.

O alongamento e o limite de escoamento permaneceram praticamente constantes.

Recomenda-se aos produtores de baterias do tipo ácido-chumbo e que utilizam ligas Pb-Bi para a confecção de seus componentes, que utilizem uma alta taxa de resfriamento no processo de solidificação.

## Referências

- GARCIA, Amauri. *Solidificação: fundamentos e aplicações*. 2. ed. Campinas, SP: UNICAMP, c2007. 399 p.
- PEIXOTO, L.C., OSÓRIO, Wislei R. ; GARCIA A. The interrelation between mechanical properties, corrosion resistance and microstructure of Pb Sn casting alloys for lead-acid battery components. *Journal of Power Sources (Print)*, v. 195, p. 621-630, 2010
- OSÓRIO, Wislei R.; PEIXOTO, L C. ; CANTÉ, Manuel V. ; GARCIA, A. . *Microstructure features affecting mechanical properties and corrosion behavior of a hypoeutectic Al Ni alloy*. *Materials and Design*, v. 31, p. 4485-4489, 2010

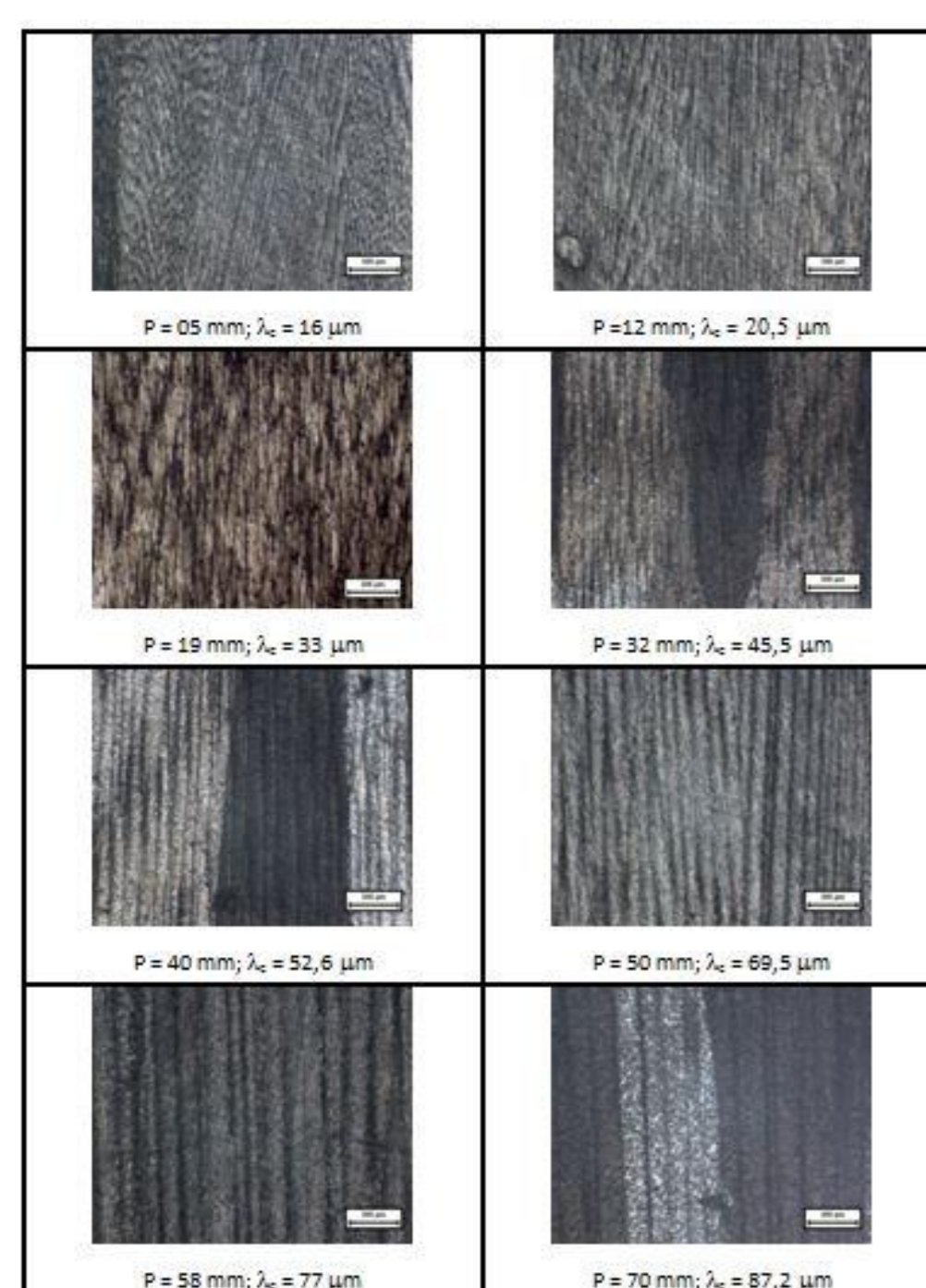


Figura 2.1 - Microestruturas da liga Pb-1,0%Bi nas posições de 5 a 70 mm em relação à interface metal/molde (aumento óptico utilizado na obtenção das imagens: 50X).

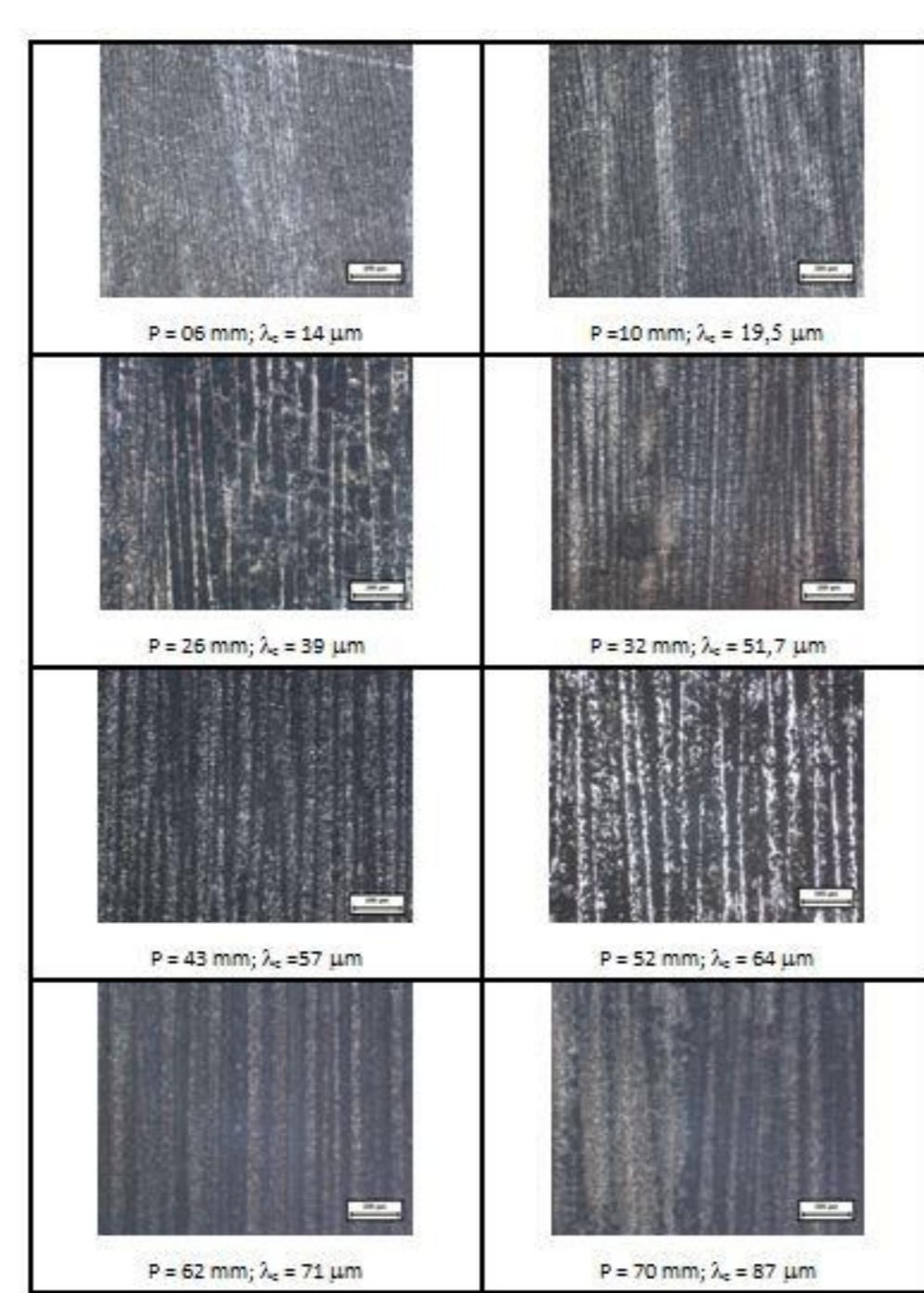


Tabela 1.2 - Microestruturas da liga Pb-2,4%Bi nas posições de 5 a 70 mm em relação à interface metal/molde (aumento óptico utilizado na obtenção das imagens: 50X).