



Complementos de Fabricação Mecânica

PMR 3301

Profa. Izabel Machado

machadoi@usp.br



Parâmetros em processos de fabricação

Quais são os parâmetros importantes em fabricação ?

Que fabricação?

Que material ?



MQL

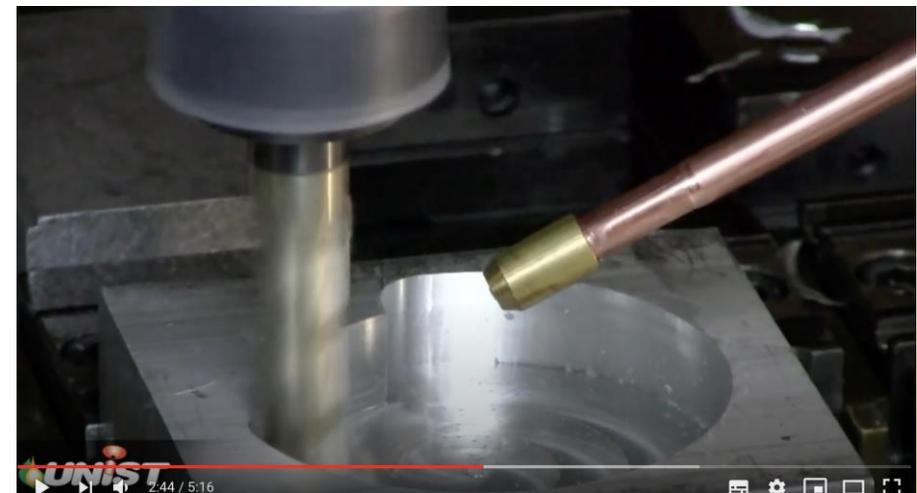
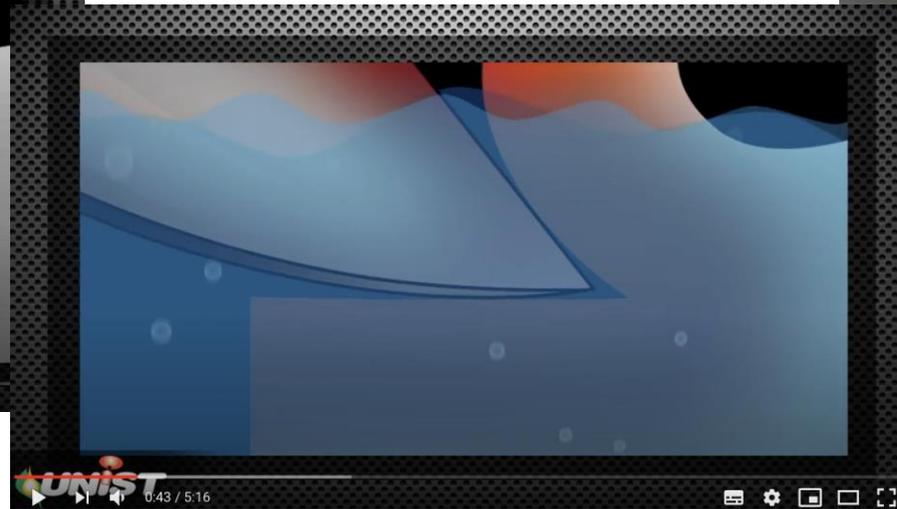
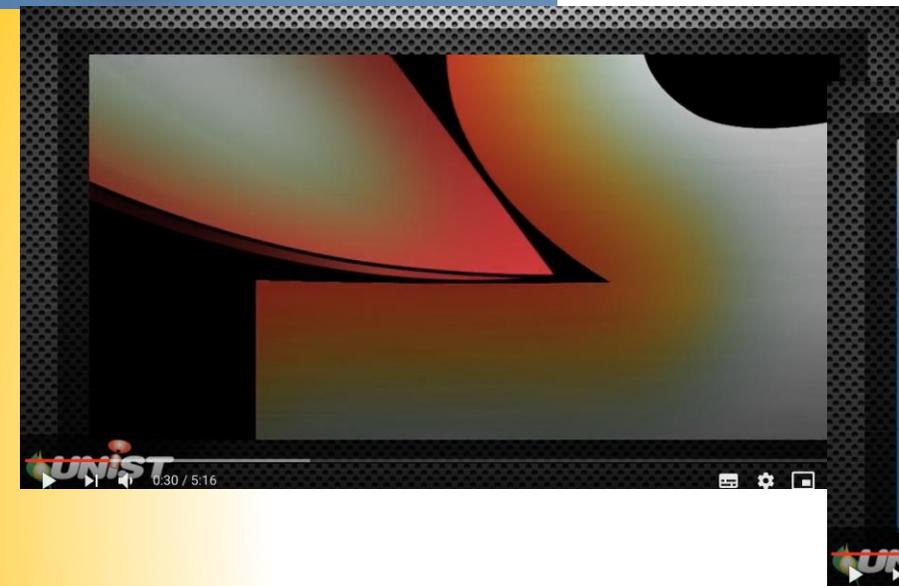
Nos processos de refrigeração convencionais, milhares de litros de emulsões devem ser transportados, filtrados, refrigerados e finalmente dispensados. O reprocessamento e disposição destes líquidos resultam em custos muito altos, associados ainda a outros custos necessários à limpeza e secagem do cavaco antes da disposição ou da reciclagem final.

O MQL, portanto, é uma solução ecológica e econômica. No processo MQL tem-se a aplicação precisa de um lubrificante adequado (óleos de éster, alcoóis etc.) diretamente no local ativo da ferramenta (lâmina de corte). Somente alguns mililitros de lubrificantes são gastos por hora. O óleo evapora quase que totalmente na lâmina de corte, assim cavaco, peças e ferramentas permanecem praticamente secos.

O processo sempre é alimentado com óleo novo e limpo (menos que 50 ml/hora)



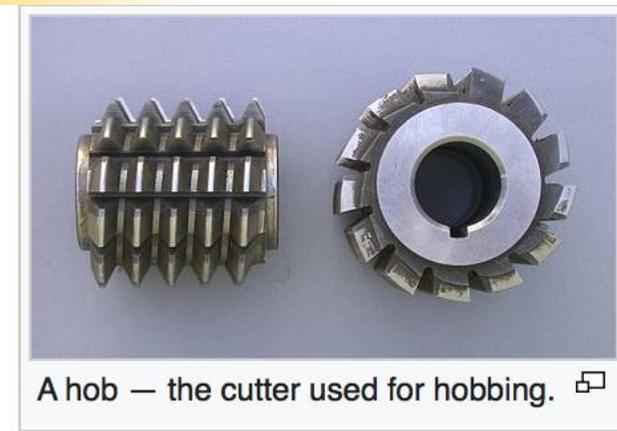
MQL





EXEMPLO: <https://www.youtube.com/watch?v=uoqDMPzSyGU>

MQL



Hobbing is a [machining](#) process for [gear cutting](#), cutting [splines](#), and cutting [sprockets](#) on a **hobbing machine**, which is a special type of [milling machine](#).

<https://en.wikipedia.org/wiki/Hobbing>



Vishal Kharka^a, Neelesh Kumar Jain^{a,*}, Kapil Gupta^b

j mater res technol. 2020;9(xx):9646–9656

<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.085>

A qualidade de uma engrenagem é avaliada principalmente com base em seus desvios de microgeometria ou tolerâncias geométricas e rugosidade da superfície de suas superfícies

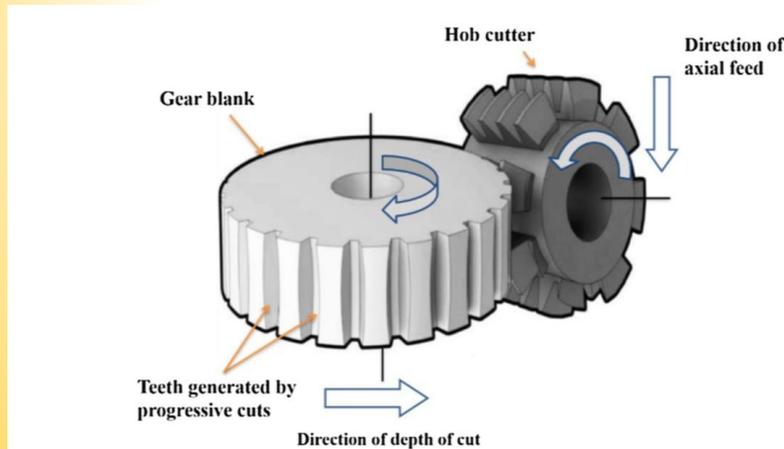


Fig. 1 – Schematic of gear hobbing process.

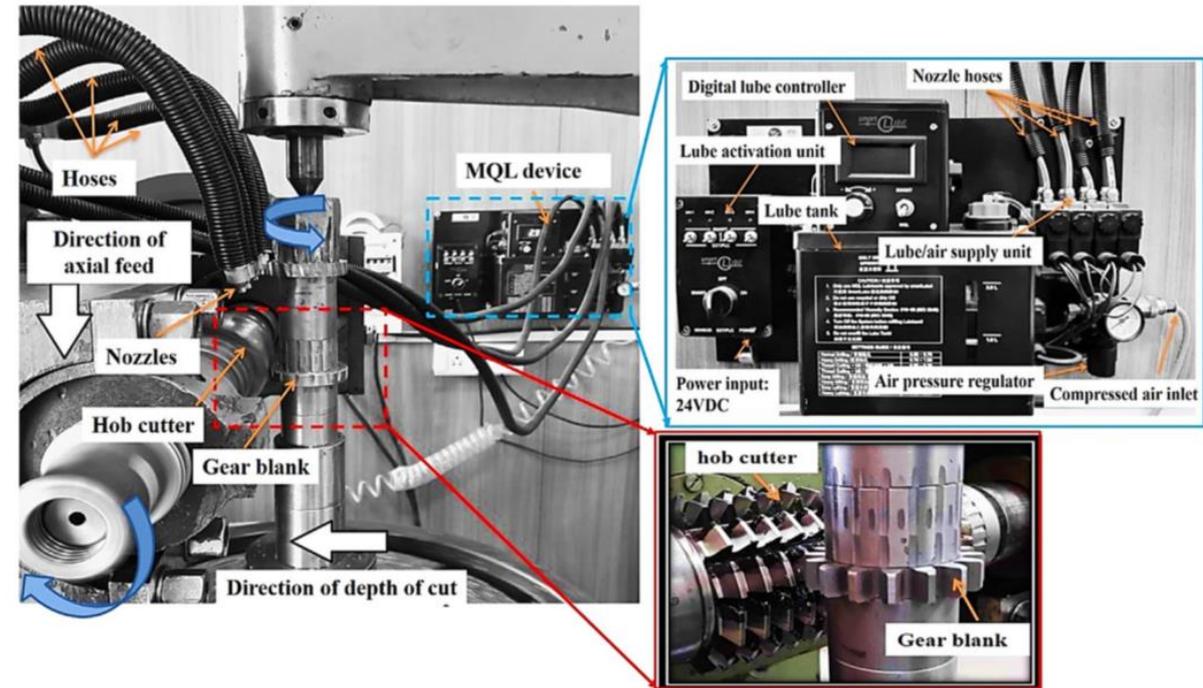


Fig. 2 – Experimental apparatus for minimum quantity lubrication assisted hobbing.



No total, 24 experimentos foram conduzidos para estudar a influência de seis parâmetros do MQL (três parâmetros relacionados ao fresamento, a saber, velocidade da fresa 'V', avanço axial 'f', profundidade de corte 'D' e três parâmetros de MQL, ou seja, fluxo de lubrificante taxa 'Q', pressão do ar 'P', ângulo do bico α) nos parâmetros considerados de desvios da microgeometria (ou seja, F_a , F_v , F_p , F_r) e rugosidade da superfície do flanco (ou seja, R_a e R_{max}) das engrenagens retas.

Os desvios da microgeometria de engrenagem são expressos em termos de parâmetros de desvio de forma, ou seja, desvios no perfil (F_a) e avanço (F_v), e parâmetros de desvio de localização, nomeadamente desvios no passo cumulativo (F_p) e desvio radial (F_r).

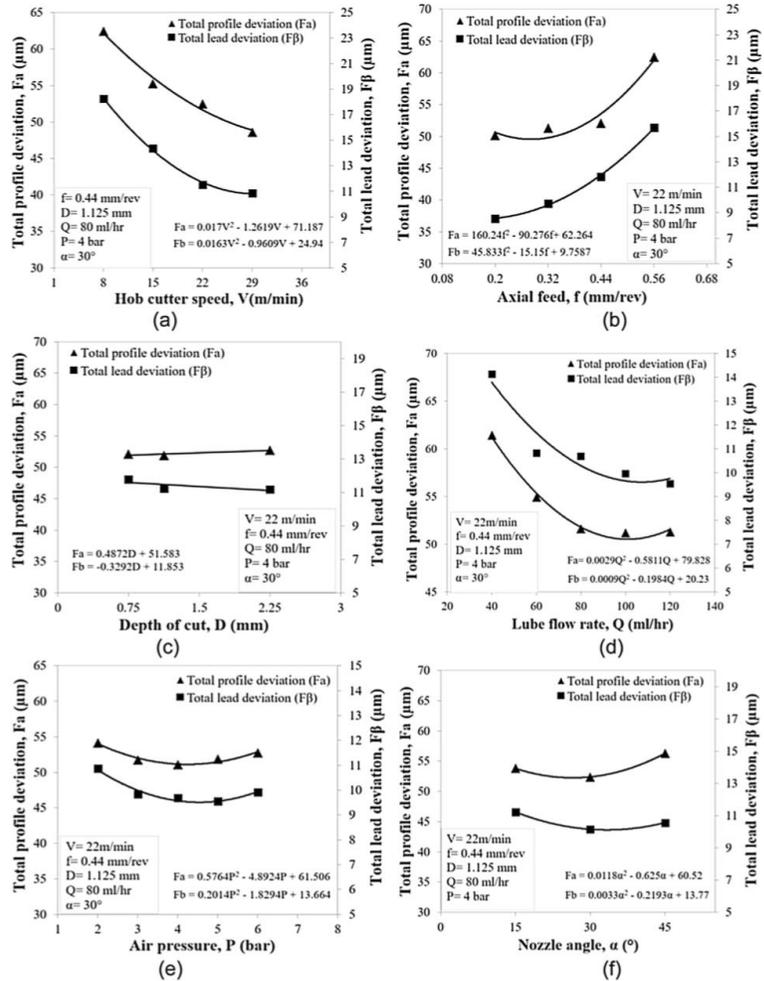


Fig. 3 – Variation in form deviations i.e. deviations in profile ‘ F_a ’ and lead ‘ F_β ’ with MQLAH parameters: (a) hob cutter speed; (b) axial feed; (c) depth of cut; (d) lube flow rate; (e) air pressure; and (f) nozzle angle.

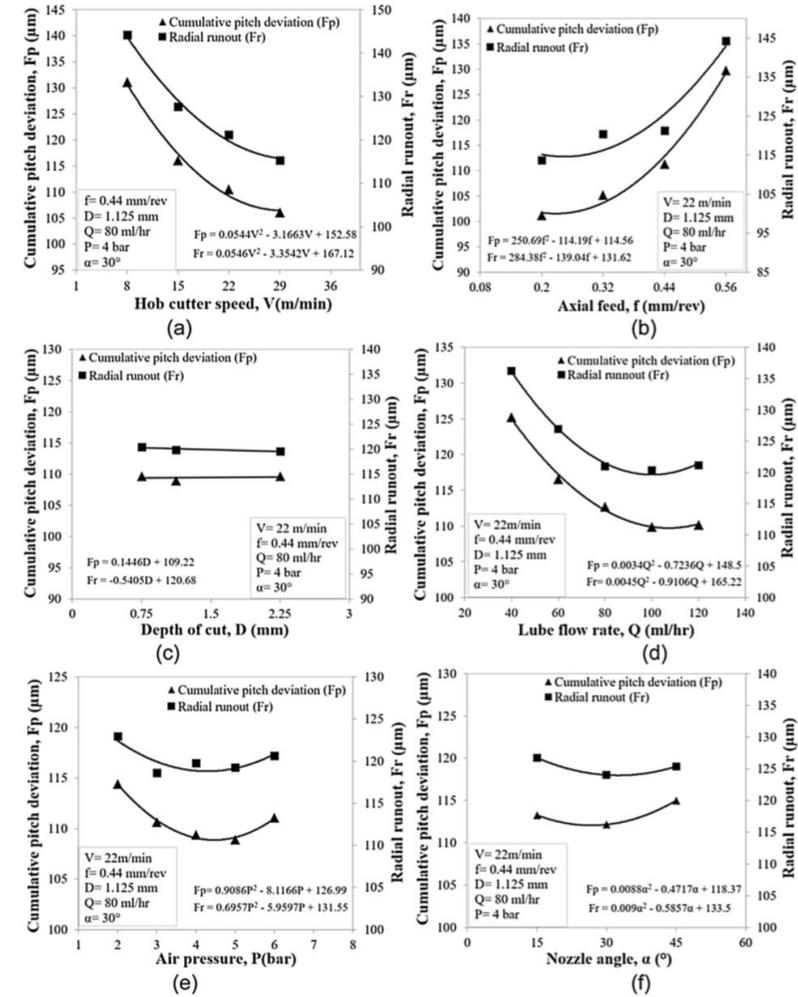


Fig. 4 – Variation in location deviations i.e. deviations in cumulative pitch ‘ F_p ’ and radial runout ‘ F_r ’ with MQLAH parameters: (a) hob cutter speed; (b) axial feed; (c) depth of cut; (d) lube flow rate; (e) air pressure; and (f) nozzle angle.

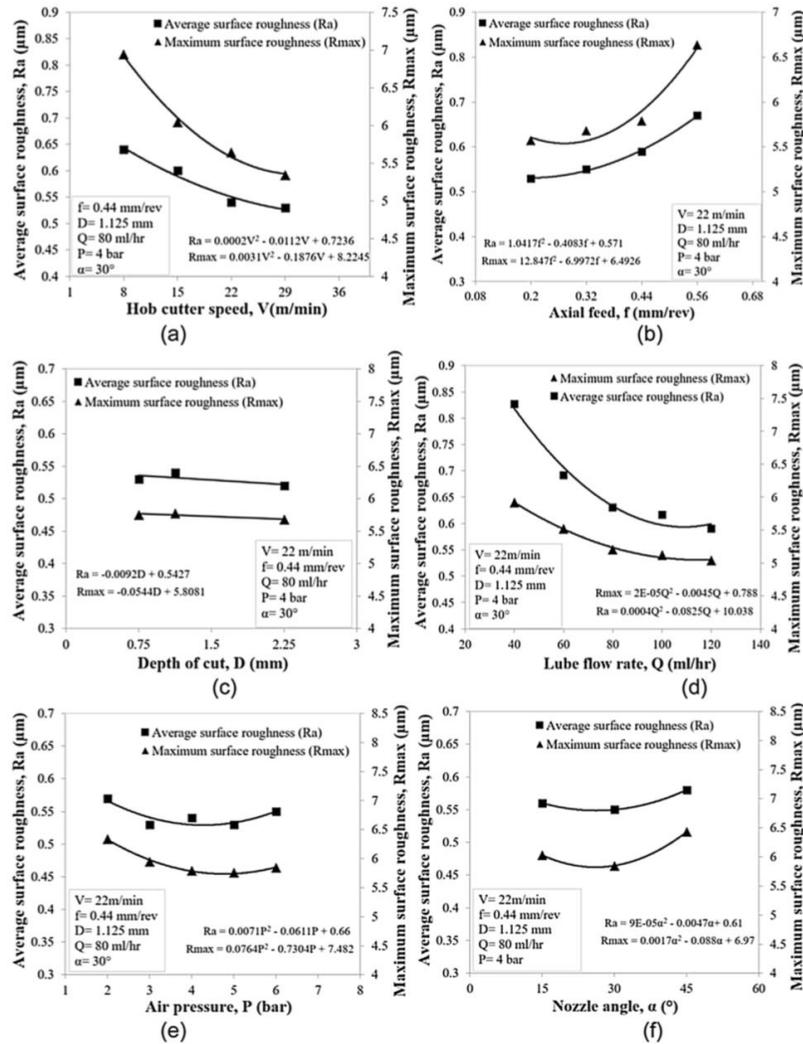


Fig. 5 – Variation in average and maximum values of flank surface roughness i.e. 'Ra' and 'Rmax' with MQLAH parameters: (a) hob cutter speed; (b) axial feed; (c) depth of cut; (d) lube flow rate; (e) air pressure; and (f) nozzle angle.

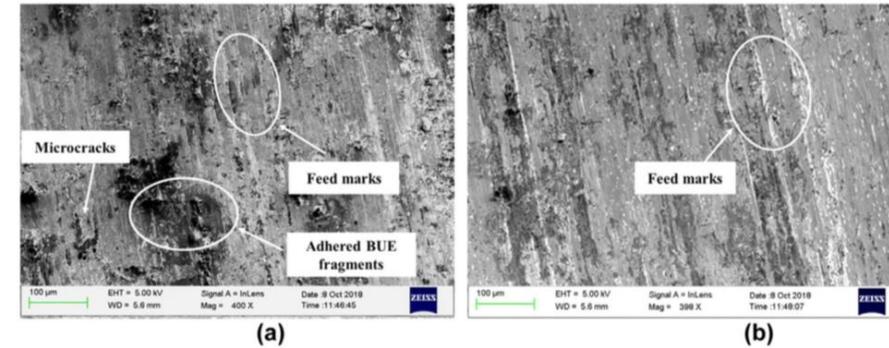
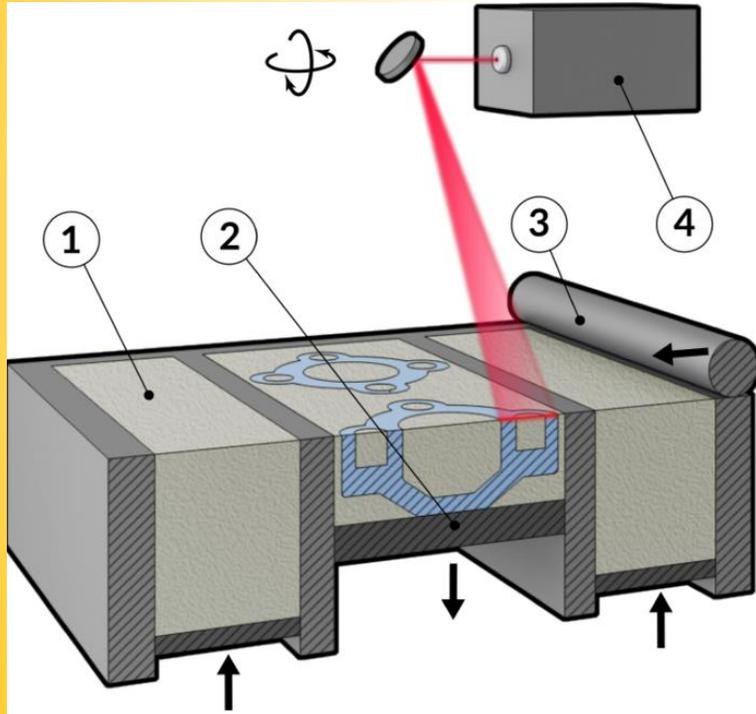


Fig. 6 – Morphology of tooth flank surface of MQLAH manufactured (a) the worst quality spur gear obtained using hob cutter speed of 8 m/min and lube flow rate of 80 ml/h, and (b) the best quality spur gear obtained using hob cutter speed of 22 m/min and lube flow rate of 100 ml/h (Constant parameters: axial feed = 0.44 mm/rev; depth of cut = 1.125 mm; nozzle angle = 30°; and air pressure = 4 bar).

A engrenagem de melhor qualidade foi obtida usando a velocidade da fresa de 22 m / min; avanço axial de 0,44 mm / rev; 1,125 mm como profundidade de corte; taxa de fluxo do lubrificante de 100 ml / h, pressão do ar de 4 bar e ângulo do bico de 30°. Possui desvio total do perfil de 49,75 m; desvio total do avanço como 14,05 m, desvio total do erro do passo como 99,75 m, erro de runout como 117,35 m e valores de rugosidade de flanco de Ra como 0,51 m e Rmax como 5,23 m.



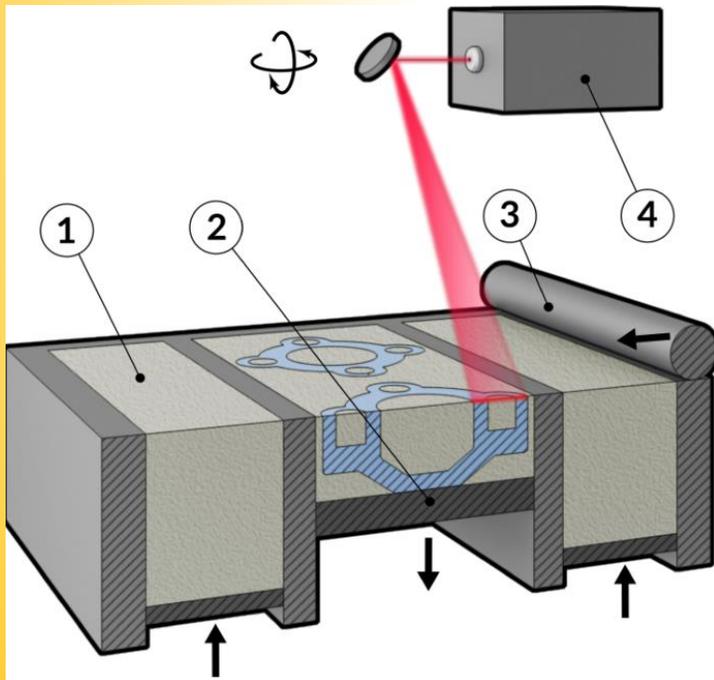
SLS
(Selective Laser Sintering)



- *Selective Laser Sintering (SLS)* e *Selective laser melting (SLM)*, são termos utilizados para processos de impressão 3D baseado em Laser e materiais em pó
- Na SLS/SLM camadas de pós compactados são depositados em uma cuba, que é varrida por feixes de Laser, promovendo a SINTERIZAÇÃO ou FUSÃO das partículas de material, gerando o sólido.
- O material de cada camada é ligado (fundido ou sinterizado) a camada anterior.
- A câmara é completamente selada, e pode ser feita em ambiente com atmosfera controlada. Problema de reatividades dos pós
- Há necessidade de manter a temperatura com precisão, devido aos pontos de fusão do material.
- Cada material tem um ponto de fusão específico, o que torna o estabelecimentos dos parâmetros de operação mais complexos
- O pó não utilizado deve ser removido
- O próprio pó não utilizado serve de estrutura de suporte, o que elimina a necessidade de remoção posterior destas estruturas
- Geometrias complexas que não podem ser executadas por outros processos podem facilmente serem feitas por SLS/SLM



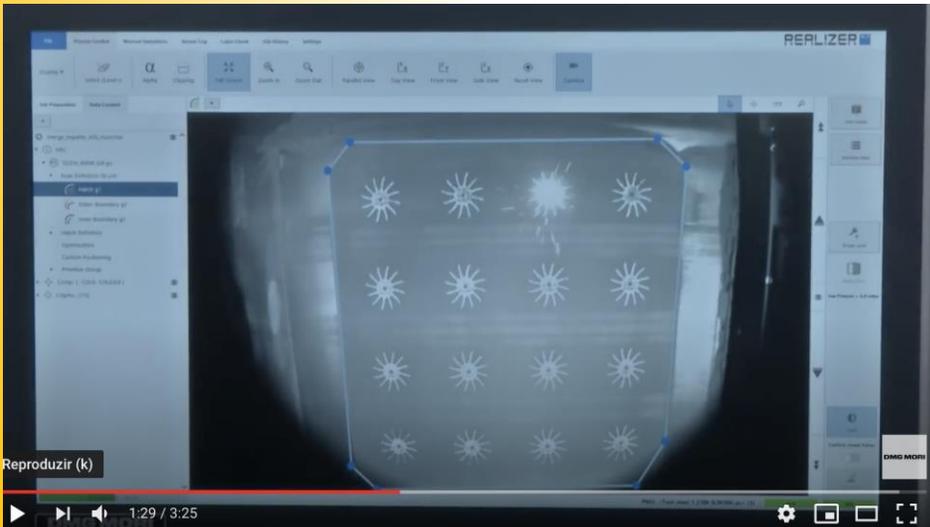
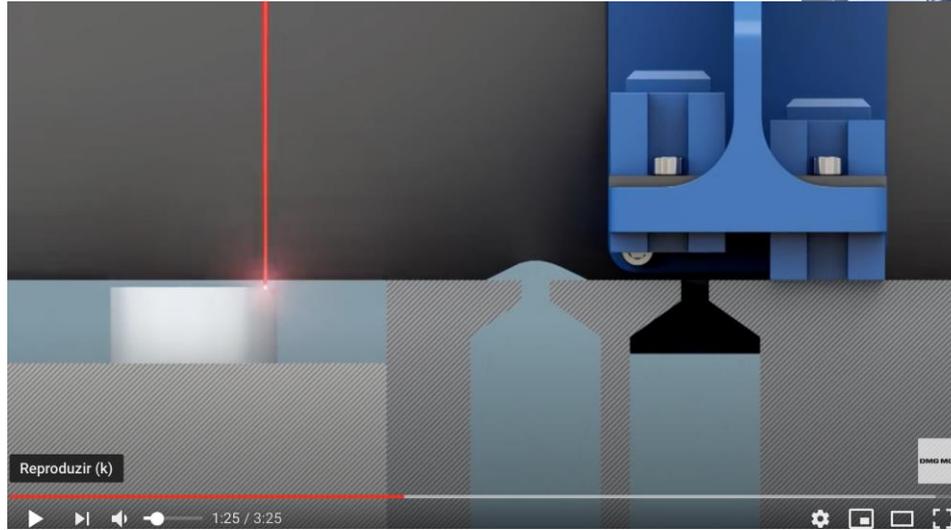
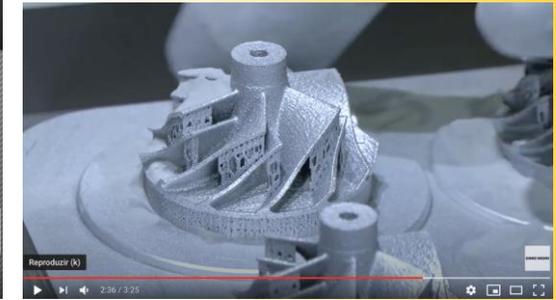
SLS (Selective Laser Sintering)



- As desvantagens da *Selective Laser Sintering (SLS)* e *Selective laser melting (SLM)*, estão na alta temperatura do processo e a necessidade de esperar o resfriamento
- Na porosidade resultante
- As vezes é necessário a infiltração com outros materiais para garantir continuidade do meio e aumento da resistência do componente.
- Devido as altas temperaturas a potência do laser é bem maior do que as de processamento de polímeros
- As exatidões e acabamento superficial não são tão bons quanto a SLA e DLP

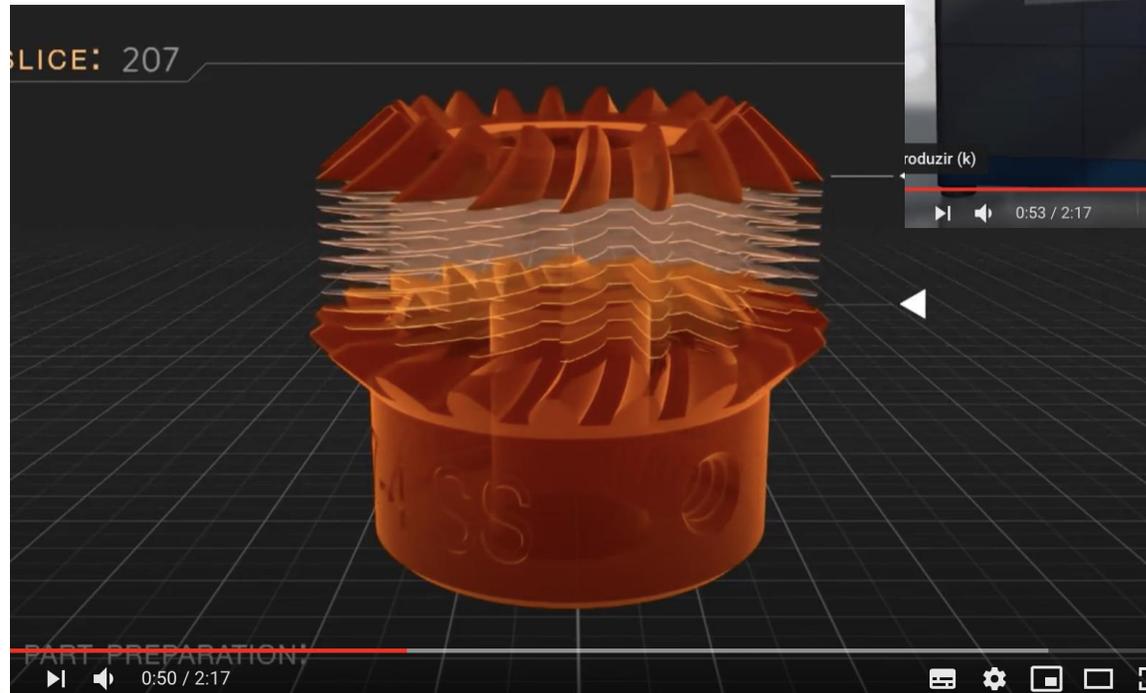


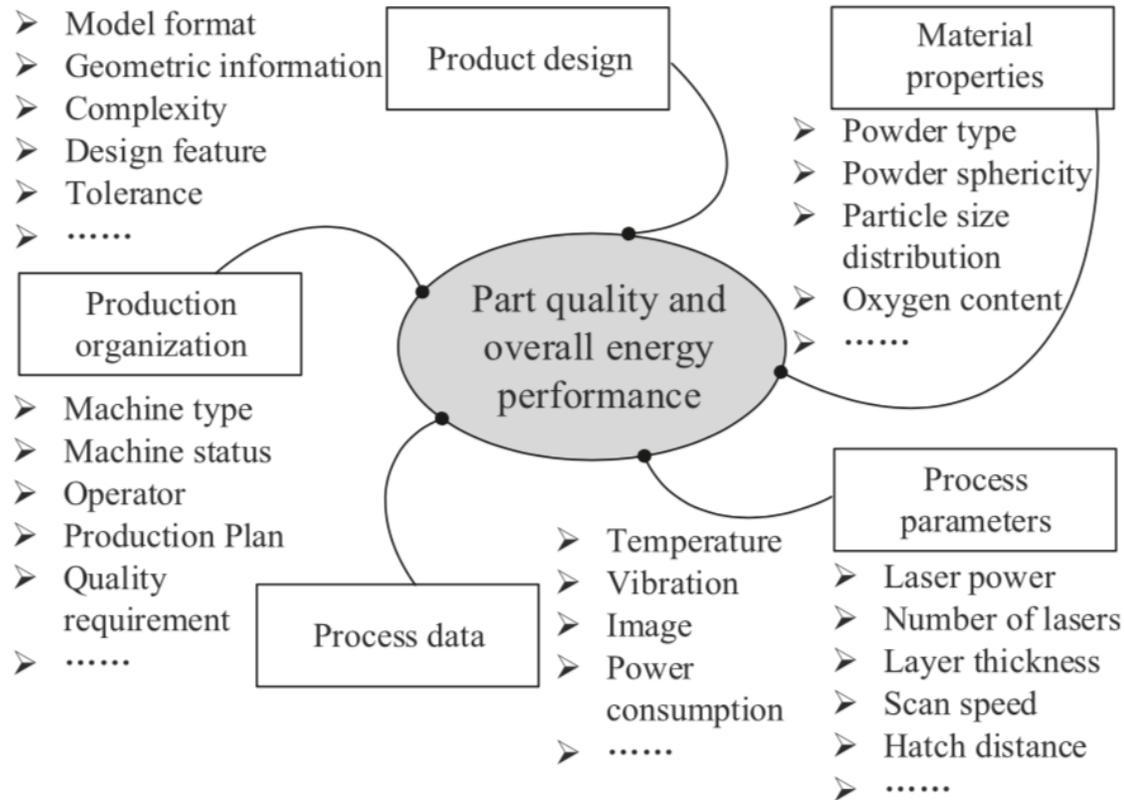
SLM e SLS





SLM e SLS





Este artigo investiga as influências dos parâmetros do processo na qualidade da peça, no consumo de energia elétrica e na eficácia da energia correspondente (EE) de amostras AlSi10Mg fabricadas por fusão a laser seletiva (SLM).

Aqui, EE é definida como a razão entre a qualidade equivalente e o consumo específico de energia (SEC), onde SEC se refere ao consumo de energia por quilograma de peça produzida durante o processo de construção.

Fig. 1. Factors that influence the part quality and overall energy performance of AM processes. The EE is influenced by product design, material properties, process parameters, process data and production organization.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123609>

Table 1
Chemical compositions of the AlSi10Mg powder in use.

Elements	Al	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Ni	Pb	Sn
Wt.%	Balance	9.5	0.38	0.18	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

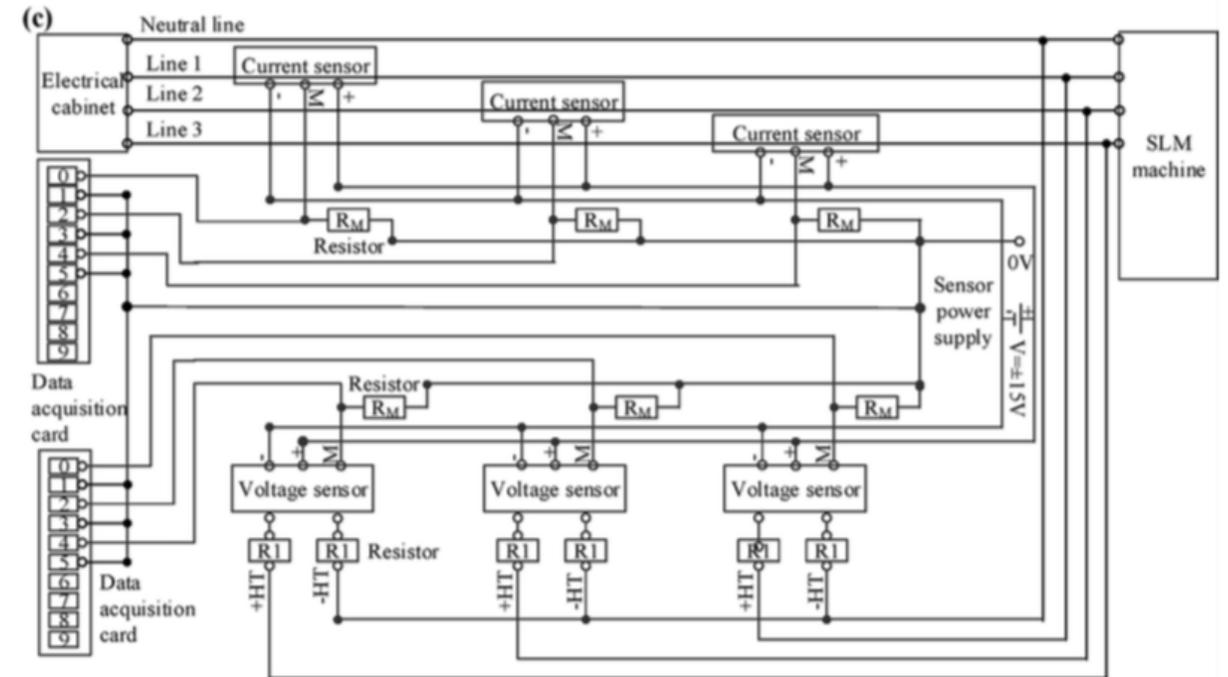
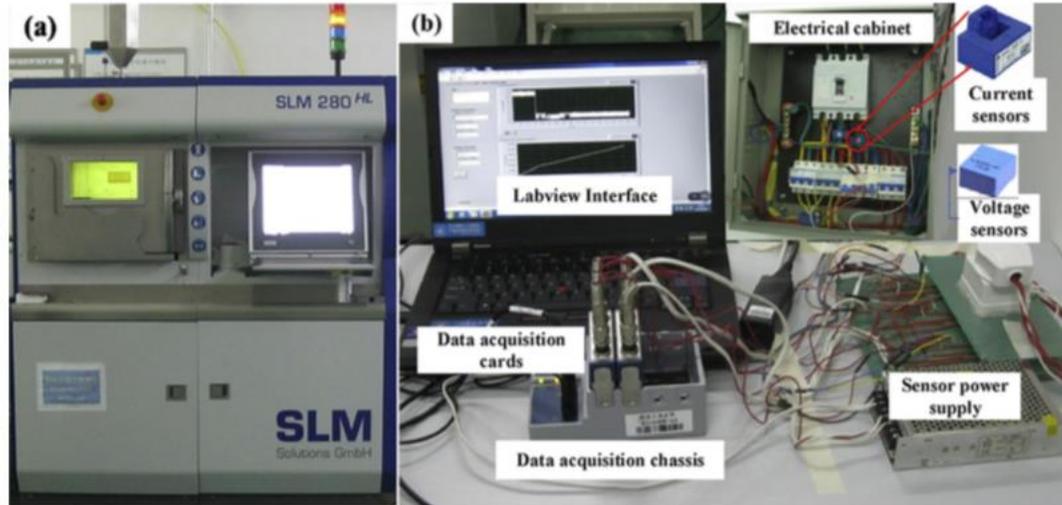


Fig. 3. Experimental set-up: (a) SLM machine, (b) energy data acquisition equipment and (c) schematic circuit diagram for energy data recording.



Table 4

Results of the quality performances and SEC of the SLM processed AlSi10Mg samples.

No	Laser Power [W]	Scan speed [mm/s]	Hatch distance [μm]	Overlap rate	Density [g/cm ³]	Relative density	Tensile strength [MPa]	Hardness [HV]	SEC [MJ/kg]	EE of relative density	EE of tensile strength	EE of hardness	Comprehensive EE
1	320	600	102.4	0.25	2.6102	0.9739	455.00	119.0	446.33	0.7828	0.7891	0.6746	0.7488
2	320	600	95.5	0.3	2.6266	0.9801	450.00	123.2	475.59	0.7393	0.7324	0.6554	0.7091
3	320	600	88.7	0.35	2.6270	0.9802	443.33	130.8	511.97	0.6869	0.6703	0.6464	0.6679
4	320	750	93.1	0.25	2.6196	0.9774	448.33	124.4	391.33	0.8961	0.8868	0.8043	0.8624
5	320	750	86.9	0.3	2.6094	0.9737	443.33	123.2	420.88	0.8300	0.8154	0.7406	0.7953
6	320	750	80.7	0.35	2.6204	0.9777	445.00	127.8	451.32	0.7772	0.7632	0.7165	0.7523
7	320	900	81.8	0.25	2.6310	0.9817	443.33	127.6	369.54	0.9531	0.9286	0.8736	0.9185
8	320	900	76.3	0.3	2.6221	0.9784	446.67	127.8	397.53	0.8830	0.8698	0.8134	0.8554
9	320	900	70.9	0.35	2.6298	0.9813	450.00	122.6	426.55	0.8254	0.8166	0.7272	0.7897
10	360	600	111.0	0.25	2.5965	0.9688	431.67	127.2	433.35	0.8021	0.7711	0.7427	0.7719
11	360	600	103.6	0.3	2.6237	0.9790	436.67	135.2	459.49	0.7644	0.7356	0.7445	0.7482
12	360	600	96.2	0.35	2.6063	0.9725	441.67	116.4	498.14	0.7004	0.6863	0.5912	0.6593
13	360	750	98.0	0.25	2.6083	0.9732	430.00	129.8	390.90	0.8932	0.8515	0.8402	0.8616
14	360	750	91.4	0.3	2.6308	0.9817	441.67	123.2	415.54	0.8476	0.8228	0.7502	0.8068
15	360	750	84.9	0.35	2.6087	0.9734	445.00	128.8	451.14	0.7741	0.7635	0.7224	0.7533
16	360	900	88.9	0.25	2.6092	0.9736	420.00	119.0	358.97	0.9731	0.9057	0.8388	0.9058
17	360	900	83.0	0.3	2.6260	0.9799	431.67	127.2	382.02	0.9202	0.8747	0.8425	0.8791
18	360	900	77.1	0.35	2.6252	0.9795	446.67	122	411.38	0.8542	0.8405	0.7504	0.8150
19	400	600	116.4	0.25	2.5618	0.9559	420.00	118.6	437.63	0.7836	0.7429	0.6857	0.7374
20	400	600	108.6	0.3	2.6241	0.9791	445.00	131.0	457.92	0.7671	0.7522	0.7238	0.7477
21	400	600	100.9	0.35	2.6296	0.9812	438.33	139.2	491.84	0.7157	0.6899	0.7161	0.7072
22	400	750	104.7	0.25	2.6056	0.9722	430.00	124.8	382.68	0.9114	0.8698	0.8251	0.8688
23	400	750	97.7	0.3	2.6164	0.9763	431.67	127.4	408.41	0.8576	0.8182	0.7893	0.8217
24	400	750	90.7	0.35	2.5981	0.9694	446.67	120.8	443.03	0.7850	0.7804	0.6899	0.7518
25	400	900	94.1	0.25	2.6250	0.9795	416.67	125.4	352.20	0.9978	0.9158	0.9009	0.9381
26	400	900	87.8	0.3	2.5864	0.9651	443.33	113.2	383.11	0.9038	0.8958	0.7476	0.8491
27	400	900	81.5	0.35	2.6152	0.9758	438.33	118.4	408.18	0.8577	0.8313	0.7339	0.8076

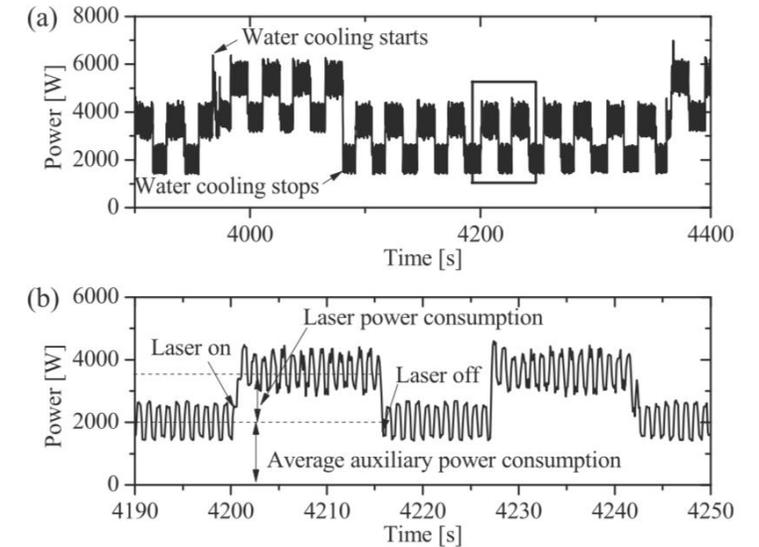


Fig. 9. Measured power in the SLM process of AlSi10Mg samples, (a) power consumption of the SLM machine during part fabricating process; (b) enlarged area of the black box in (a).



<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123609>

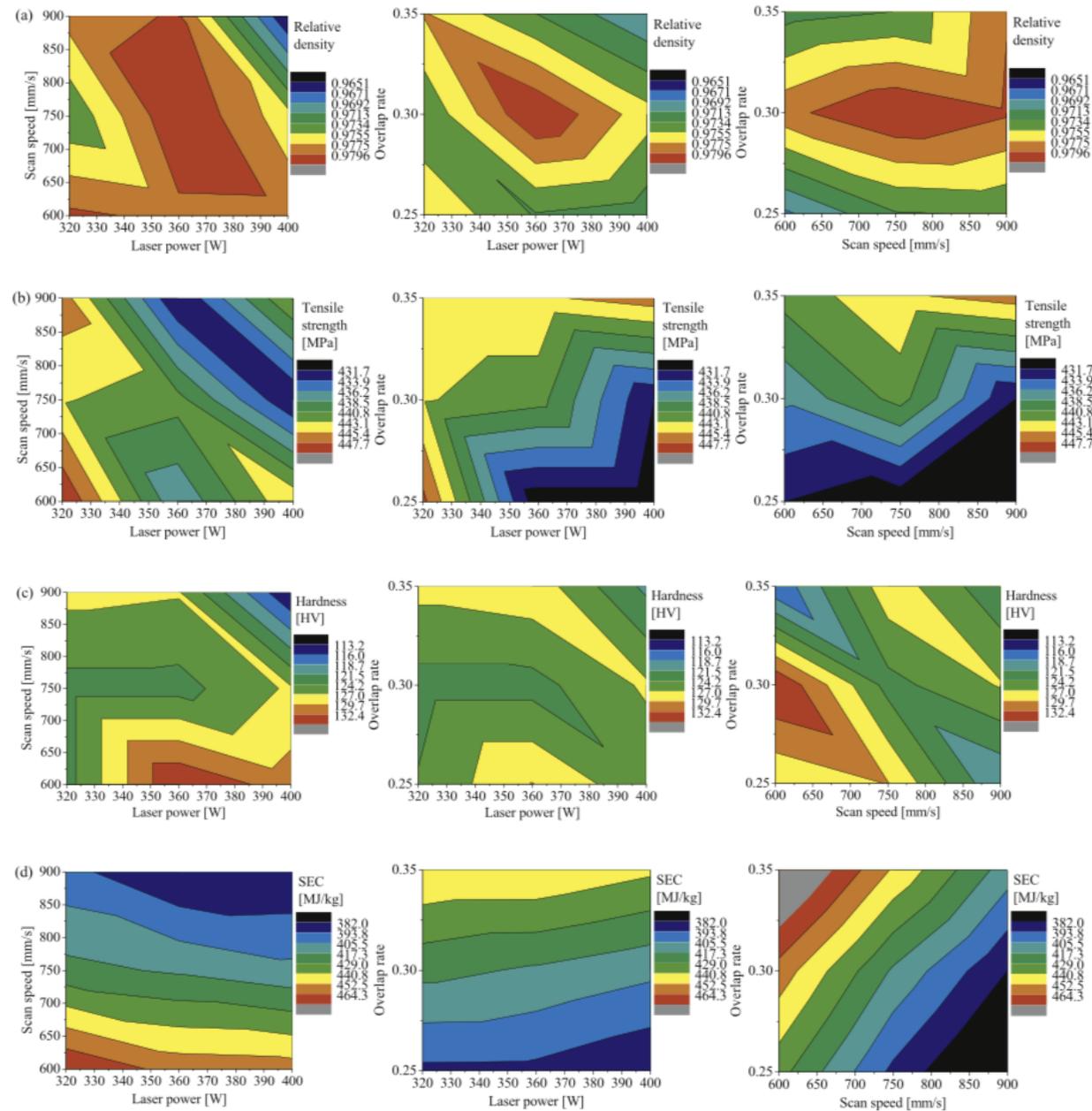


Fig. 11. Contour plots for (a) relative density, (b) tensile strength, (c) hardness and (d) SEC.

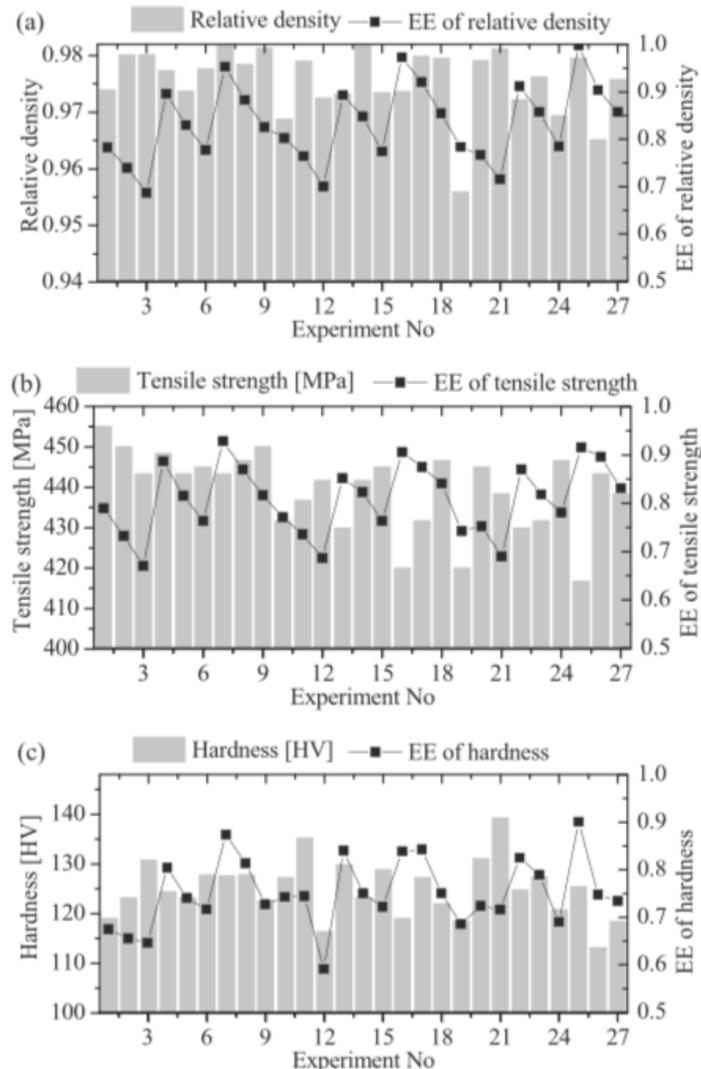


Fig. 15. Quality and EE of (a) relative density, (b) tensile strength and (c) hardness.

Os resultados mostram que a densidade não aumenta com o aumento da SEC, enquanto a resistência à tração e a dureza mostram tendências crescentes. EE pode ser melhorado sem sacrificar significativamente a densidade e dureza, mas a resistência à tração será bastante reduzida. Um caso mostrou que uma porcentagem significativa (27,8%) de energia elétrica poderia ser economizada enquanto satisfazia os requisitos de qualidade por meio da seleção adequada de parâmetros de processo para a fabricação de peças SLMed.



Fig. 1. Word clouds of the words in literature review.

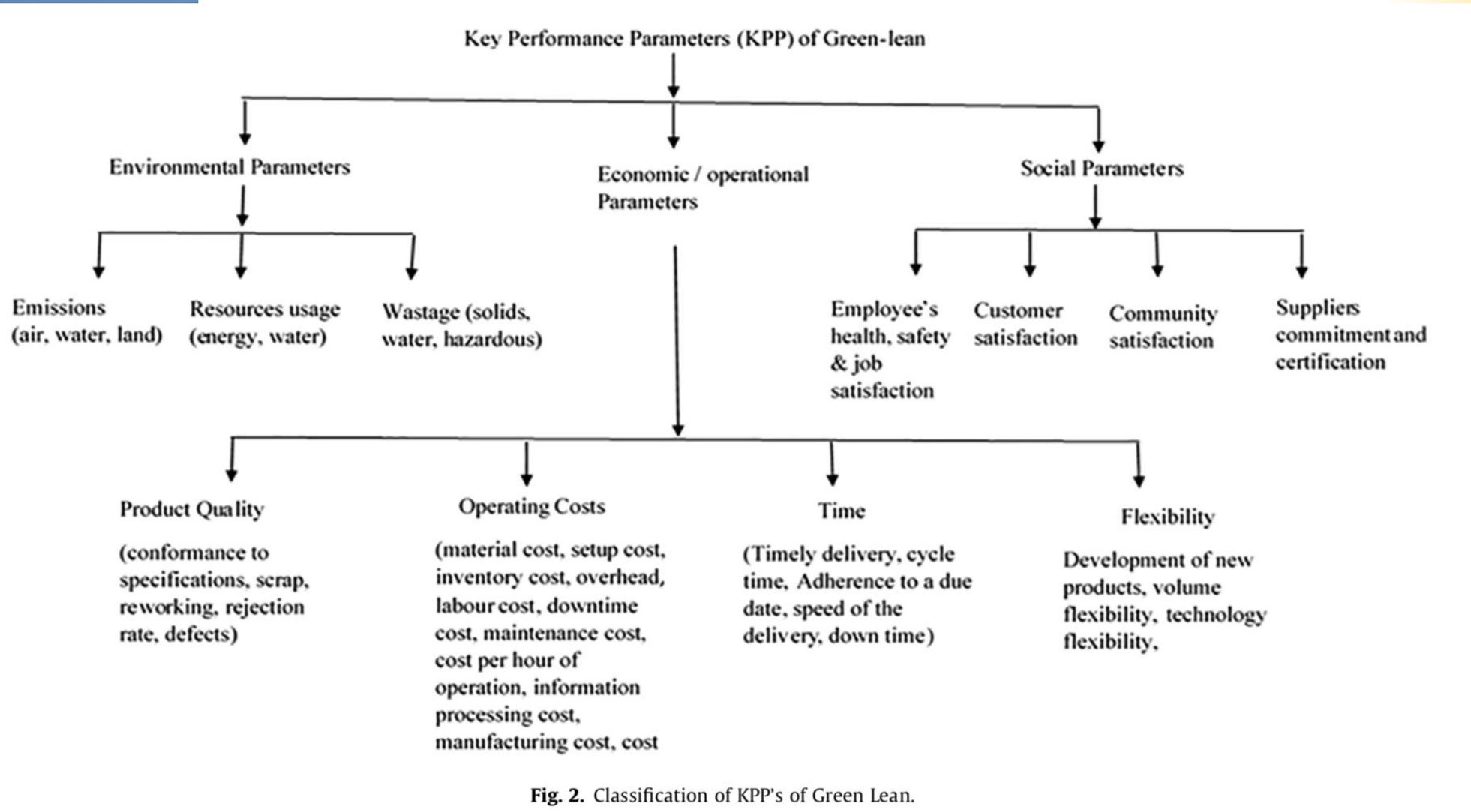


Fig. 2. Classification of KPP's of Green Lean.



Os fabricantes estão cada vez mais começando a entender o valor de se tornar Green Lean em um período de responsabilidade ambiental. As questões ambientais têm aumentado amplamente e incentivam a manufatura a reduzir seus efeitos sobre o meio ambiente, melhorando e refinando os métodos de produção e otimizando seus processos de produção.

Embora a pesquisa sobre a questão do lean verde tenha crescido amplamente nos últimos anos, poucos estudos foram conduzidos para refinar os principais parâmetros de desempenho dos aspectos do lean verde nas indústrias de manufatura.

O objetivo do trabalho foi identificar os principais parâmetros de desempenho (KPP's) da literatura existente para medir o efeito das práticas enxutas verdes nas indústrias de manufatura de desempenho. Vários parâmetros-chave de desempenho foram identificados na literatura existente. Esses KPPs ajudarão os fabricantes e formuladores de políticas a avaliar o impacto das práticas verdes enxutas.



Seleção de Parâmetros Através do Método Taguchi para Soldagem de Revestimento com Ligas de Níquel pelo Processo MIG/MAG

Soldag. insp. São Paulo, Vol. 15, No. 4, p.317-324, Out/Dez 2010

<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242010000400009>

Neste trabalho utilizou-se o método Taguchi (planejamento Robusto de experimentos), para cumprir com um reduzido número de ensaios, dois objetivos: obter a influência dos fatores de controle sobre as variáveis respostas e determinar as condições ideais para aplicação das ligas de níquel nas soldagens de revestimentos através do processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito. Foram escolhidos seis fatores de controle com três níveis cada: Tensão de referência, Velocidade de soldagem, Tipo de tecimento, Técnica da tocha, Gás de proteção e o Material de adição. Por sua vez as variáveis respostas escolhidas foram: Diluição (D) e Razão entre o reforço e a largura (R/L).



Método Taguchi com o intuito de reduzir o número de ensaios necessários caso fosse utilizado o método do fatorial completo.

Assim foram escolhidos seis fatores de controle com três níveis cada: Tensão de referência ($U_r = 20, 22, 24 \text{ V}$), Velocidade soldagem ($V_s = 0,2, 0,3 \text{ e } 0,4 \text{ m/min}$), Tipo de tecimento (Sem tecimento ou ST, duplo oito ou D8 e Tecimento triangular ou TT mostrados na [Figura 1](#)), Técnica da tocha (normal, empurrando e puxando mostrados na [Figura 2](#)), Gás de proteção (100%Ar, 70%Ar+30%He e 99,97%Ar+0,03%NO) e o Material de adição (Liga= ERNiCrMo-3 ou 625, ERNiCrMo-14 ou 686 e ERNiCrMo-4 ou C-276).

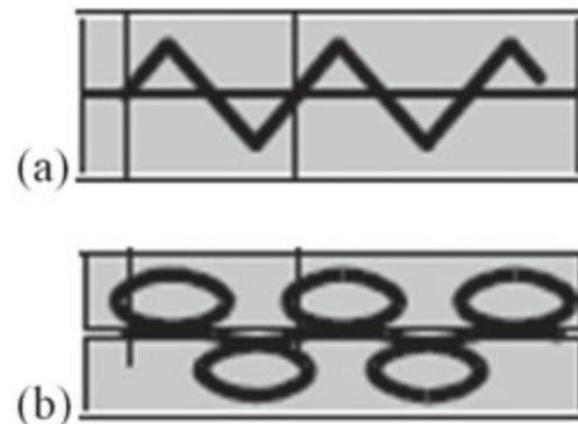


Figura 1 – Tipo de tecimento: (a) Tecimento triangular e (b) Tecimento em duplo oito.

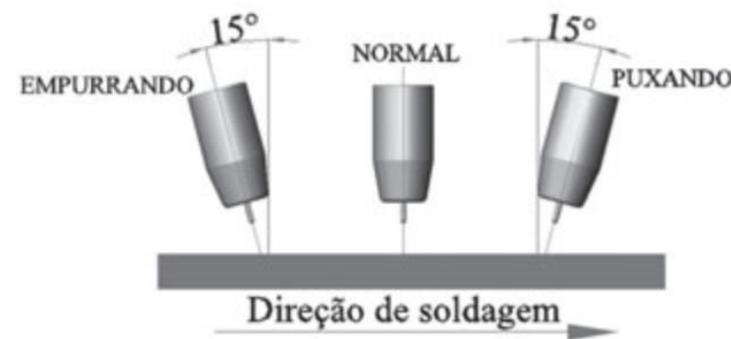


Figura 2 - Posições da tocha.



Tabela 1 - Ensaios realizados com a matriz L9-

Ensaio	Ur (V)	Técnica da Tocha	Tipo de tecimento	Vs (m/min)
R01	1 (20)	1 (Normal)	1 (Sem Tecimento)	1 (0,2)
R02	1 (20)	2 (Empurrando)	2 (Tec.Triangular)	2 (0,3)
R03	1 (20)	3 (Puxando)	3 (Duplo oito)	3 (0,4)
R04	2 (22)	1 (Normal)	2 (Tec.Triangular)	3 (0,4)
R05	2 (22)	2 (Empurrando)	3 (Duplo oito)	1 (0,2)
R06	2 (22)	3 (Puxando)	1 (Sem Tecimento)	2 (0,3)
R07	3 (24)	1 (Normal)	3 (Duplo oito)	2 (0,3)
R08	3 (24)	2 (Empurrando)	1 (Sem Tecimento)	3 (0,4)
R09	3 (24)	3 (Puxando)	2 (Tec.Triangular)	1 (0,2)

Tabela 2 - Ensaios realizados com a matriz L9-2

Ensaio	Liga	Gás de proteção	Vs (m/min)	Ur (V)
R10	1 (625)	1 (100%Ar)	1 (0,2)	1 (20)
R11	1 (625)	2 (70%Ar+30%He)	2 (0,3)	2 (22)
R12	1 (625)	3 (99,97% Ar + 0,03% NO)	3 (0,4)	3 (24)
R13	2 (686)	1 (100%Ar)	2 (0,3)	3 (24)
R14	2 (686)	2 (70%Ar+30%He)	3 (0,4)	1 (20)
R15	2 (686)	3 (99,97% Ar + 0,03% NO)	1 (0,2)	2 (22)
R16	3 (C-276)	1 (100%Ar)	3 (0,4)	2 (22)
R17	3 (C-276)	2 (70%Ar+30%He)	1 (0,2)	3 (24)
R18	3 (C-276)	3 (99,97% Ar + 0,03% NO)	2 (0,3)	1 (20)

Para a medição das características geométricas (largura, reforço, penetração e diluição) mostradas na [Figura 3](#), foram retiradas duas amostras com 10 mm de largura. A diluição foi calculada, através da relação entre as áreas adicionada e diluída, conforme a Equação 1.

$$D = \frac{Af}{(Ad + Af)} \times 100 (\%) \quad (1)$$

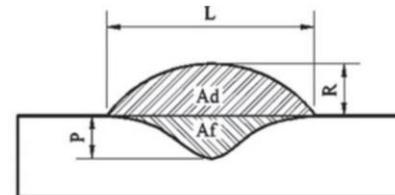


Figura 3 – Perfil geométrico dos cordões de sold

Onde:

Ad – Área depositada do cordão ([Figura 3](#))
Af – Área fundida do metal de base ([Figura 3](#))



Conclusões

Com base nos resultados experimentais apresentados neste trabalho foi possível concluir que:

- Os menores níveis para a tensão de referência e para a velocidade de soldagem ($U_r = 20 \text{ V}$ e $V_s = 0,2 \text{ m/min}$) resultaram nos menores valores de diluição.
- O uso do tecimento apesar de não afetar significativamente a diluição é um parâmetro essencial para a obtenção de baixos valores da razão R/L.
- Liga (material de adição) e o gás de proteção demonstraram ser parâmetros capazes de alterar significativamente as características geométricas dos cordões de solda. A liga C-276 e o gás 100%Ar obtiveram os menores valores de diluição, em contrapartida acarretaram nos maiores valores para a razão R/L.
- O uso do método Taguchi foi uma ferramenta estatística muito útil, pois permitiu com um reduzido número de ensaios avaliar e selecionar os parâmetros ótimos para obtenção das características geométricas desejadas para soldagem de revestimento.



Matrizes de forjamento

Célula de carga

Cilindro Hidráulico

Sensor LVDT

Figura 7 – Prensa FKL com capacidade de 6,7MN.

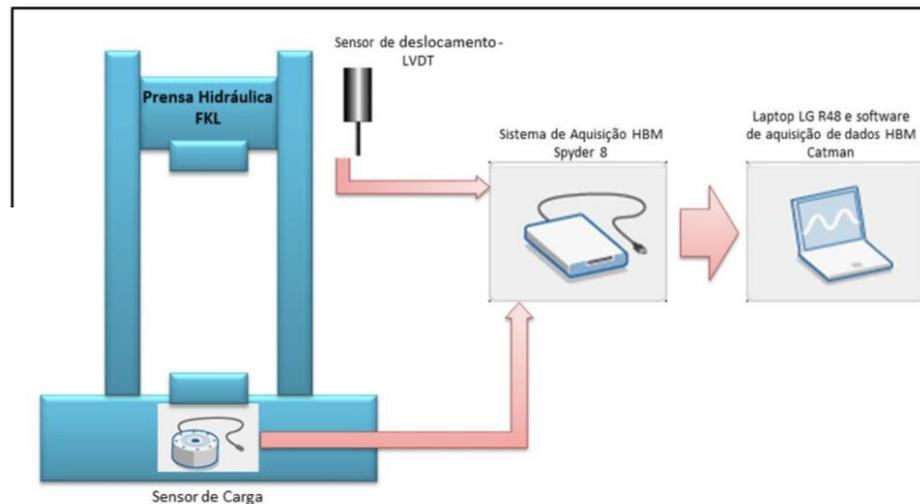


Figura 12 – Esquema do sistema de aquisição de força e deslocar

29

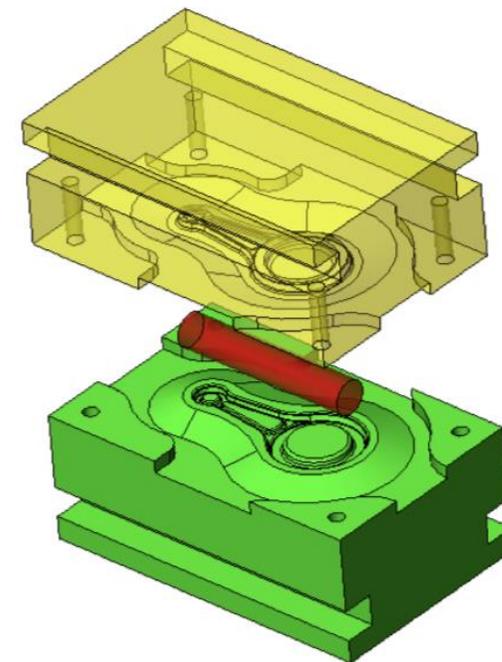


Figura 9 – Modelo das Matrizes utilizadas.



DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE
PARAMETROS DE PROCESSO DE
FORJAMENTO A QUENTE
UTILIZANDO DOE (PROJETO DE
EXPERIMENTOS).

Marcelo Fernandes Farias

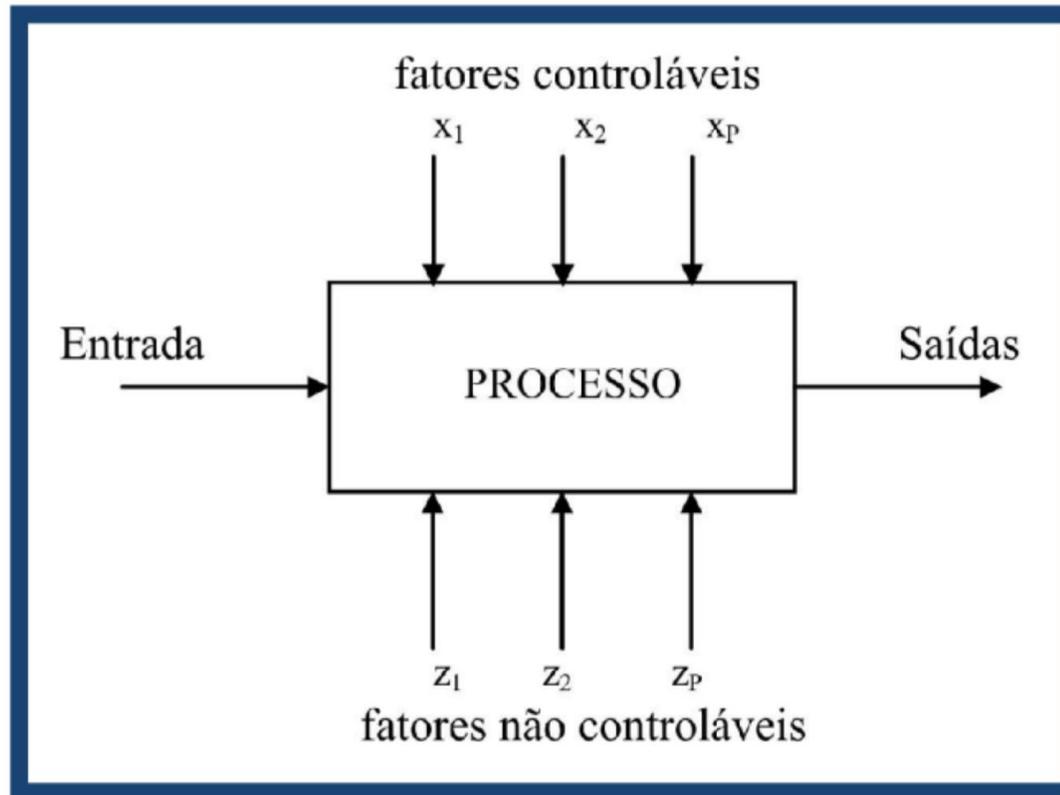
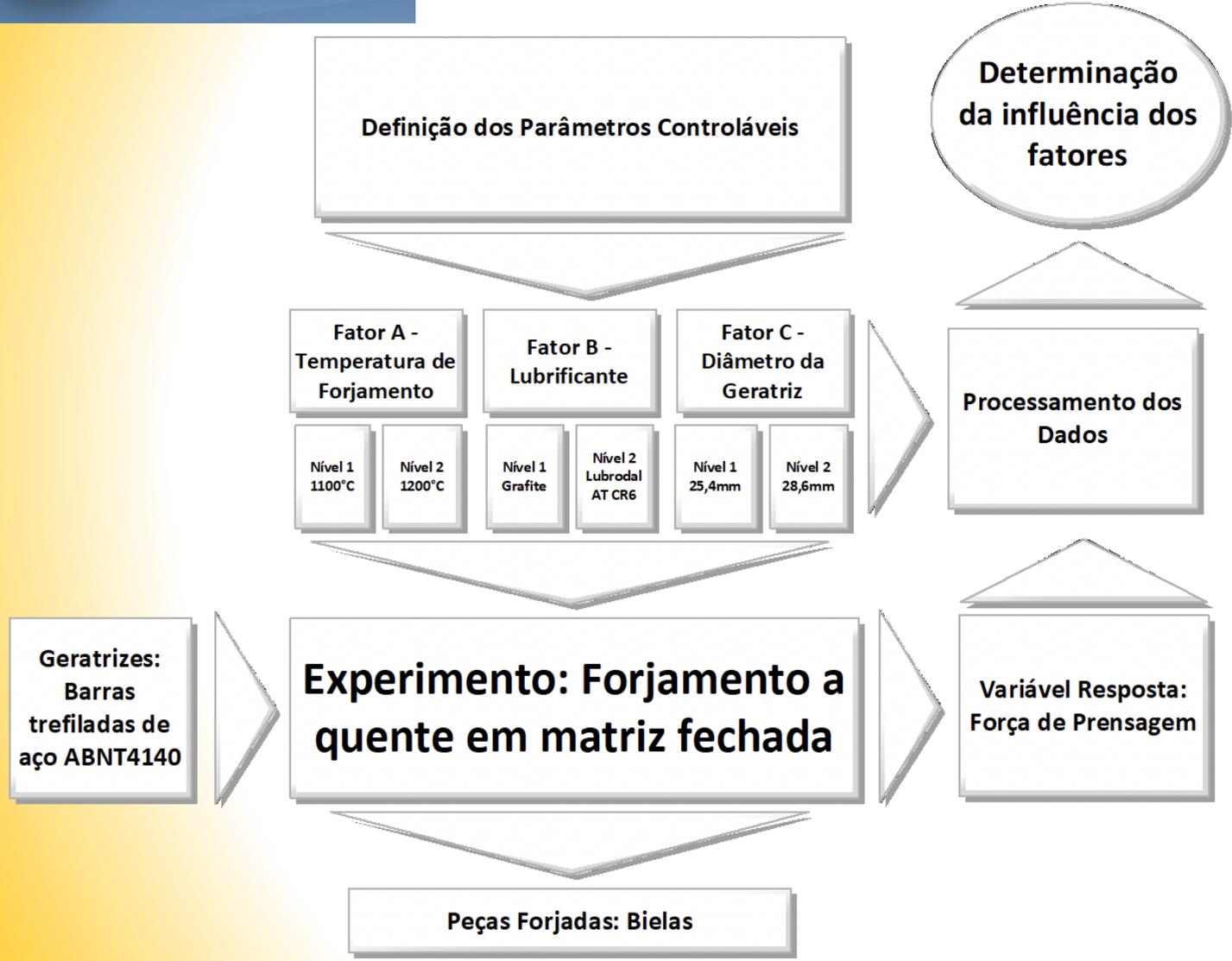


Figura 3 – Modelo geral de um processo ou sistema. Adaptado de (MONTGOMERY, 2005)



DETERMINAÇÃO DA INFLUENCIA DE
PARAMETROS DE PROCESSO DE
FORJAMENTO A QUENTE
UTILIZANDO DOE (PROJETO DE
EXPERIMENTOS).

Marcelo Fernandes Farias



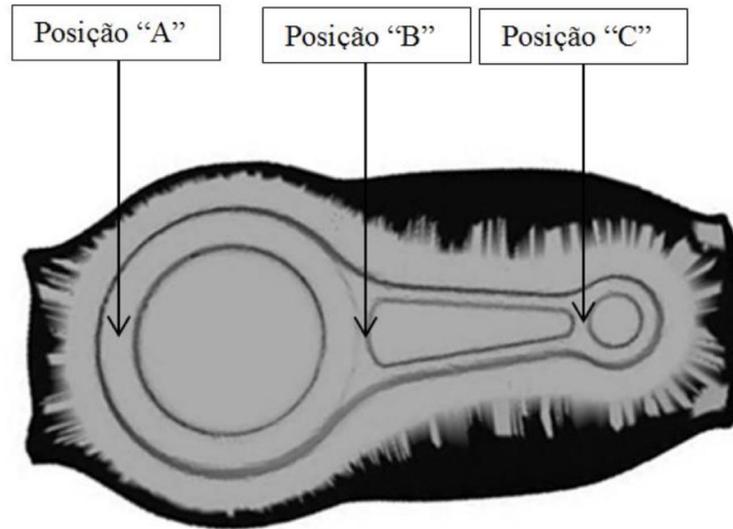


Figura 25 – Posição das medições realizadas.



Figura 23 – Biela Forjada - Amostra #7 (ensaio #3)

Tabela 7 – Medições complementares das peças geradas.

# Geratriz	Fator A - Temperatura [T] (°C)	Fator B - Lubrificante	Fator C - Diâmetro da Geratriz [D] (mm)	Espessura da Peça Forjada [h] (mm)		
				Posição A	Posição B	Posição C
1	1100	Grafite	28,6	14,93	12,50	11,98
2	1200	Grafite	28,6	14,01	11,71	11,42
3	1100	Lubrodal AT CR6	28,6	14,56	12,26	11,48
4	1200	Lubrodal AT CR6	28,6	14,35	12,03	11,84
5	1100	Lubrodal AT CR6	25,4	14,27	11,92	11,72
6	1200	Grafite	25,4	13,98	11,62	11,27
7	1100	Grafite	25,4	14,40	12,02	11,92
8	1200	Lubrodal AT CR6	25,4	14,37	12,00	11,74

Tabela 8 – Máxima carga de prensagem para cada ensaio.

# Geratriz	Fator A - Temperatura [T _F] (°C)	Fator B - Lubrificante	Fator C - Diâmetro [d _G] (mm)	Máxima Força de Prensagem [F] (kN)
1	1100	Grafite	28,6	6233
2	1200	GRAFITE	28,6	5735
3	1100	Lubrodal AT CR6	28,6	5139
4	1200	Lubrodal AT CR6	28,6	5214
5	1100	Lubrodal AT CR6	25,4	5162
6	1200	Grafite	25,4	5166
7	1100	Grafite	25,4	5728
8	1200	Lubrodal AT CR6	25,4	5003



Os resultados do experimento mostraram uma maior influência do fator lubrificante na força de prensagem resultante para os forjamentos. A influência do lubrificante foi maior, mesmos quando comparada com quaisquer outras combinações de fatores controlados no presente estudo.



Sumário

Exemplos do efeito de parâmetros de processo

Atividade

Quais as etapas e o que é necessário para desenhar um triângulo ?



Atividade

Quais as etapas e o que é necessário para desenhar um triângulo ?

Definir o triângulo

Dimensões

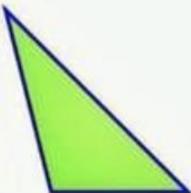
Onde desenhar

Método

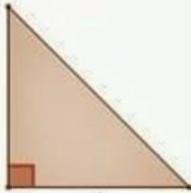
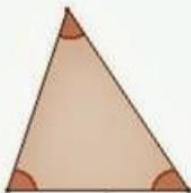
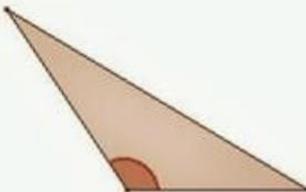
Cor, espessura da linha

TIPOS DE TRIÂNGULOS

Segundo o comprimento de seus lados:

		
Equilátero 3 lados iguais	Isósceles 2 lados iguais	Escaleno 0 lados iguais

Segundo seus ângulos:

		
Retângulo 1 ângulo reto	Acutângulo 3 ângulos agudos	Obtusângulo 1 ângulo obtuso