

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DOS PROCESSOS DE CORTE POR LASER E CORTE POR JATO D'ÁGUA APLICADOS NA INDÚSTRIA

Matheus Gonçalves de Ataíde, José Aécio Gomes de Sousa, Claudio Gomes do Nascimento, Wisley Falco Sales
Universidade Federal de Uberlândia, matheus.ataide@ufu.br

RESUMO

Com o passar do tempo, cada vez mais a sociedade cobra do mundo empresarial indícios de uma gestão sustentável, com metas de desempenho e monitoramento da atividade manufatureira. É demandado um modelo organizacional que conecte a obtenção de lucro com a compatibilidade ecológica e social, balanceando os aspectos ecológicos e socioeconômicos. Deste modo, este trabalho visa a criação de uma metodologia avaliativa de desempenho em sustentabilidade, sendo capaz de avaliar no aspecto sustentável diferentes processos de cortes em metais. Sendo assim, avaliamos os processos: Corte por jato d'água e corte a laser, possibilitando uma análise quantitativa entre esses processos em relação a sustentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, processos de corte, jato d'água, laser.

INTRODUÇÃO

Em geral, grande parte das empresas se interessam no estudo do desempenho de seus processos relacionados aos indicadores de sustentabilidade, tendo em vista que esse parâmetro é capaz de fornecer um escopo que une os interesses ambientais, sociais e econômicos às estratégias de negócio (LABUSCHAGNE et al., 2005).

Todavia, a motivação da indústria em realizar projetos sustentáveis não é muito clara. Pesquisas apontam que a sustentabilidade não se limita apenas a benefícios ambientais e sociais, mas também melhora o valor econômico da empresa (FIKSEL et al., 1999).

Segundo Jin e High (2004), relatórios que abordam diretamente a sustentabilidade constituem uma das maiores oportunidades de vantagem competitiva. De acordo com estes autores, em alguns setores da indústria, como o químico e o de mineração, a comunicação referente aos indicadores de sustentabilidade atinge a marca de 100%.

Sendo assim, de acordo com Azapagic (2004) a implementação de indicadores de sustentabilidade auxilia as empresas na identificação e abandono de operações intensivas em recursos, buscando modelos de produção mais eficientes. De acordo com Esfahbodi et al. (2016) é de extrema importância que as indústrias adotem algumas inovações de fabricação para que suas operações não prejudiquem o meio ambiente sob pena de ameaçar sua existência no mercado.

Em razão disso, esta pesquisa busca a avaliação e comparação dos KPI's (indicadores de sustentabilidade) nos processos de corte por jato d'água e laser, os parâmetros analisados são: ruído, eficiência energética, quantidade de material removido, tempo decorrido, resíduos gerados, custo médio para o cliente e salário médio do operador.

A usinagem por jato de água é um processo de fabricação mecânica que permite a fabricação de geometrias vazadas e complexas, que não são possíveis de serem fabricadas manualmente e não são economicamente viáveis quando executadas por outros processos (SILVA et al., 2010).

Em relação ao laser, o equipamento mais comum consiste em mesas móveis, com capacidade de movimentação nos eixos x, y e z. Onde os eixos x e y indicam as coordenadas do corte, enquanto o z serve para o controle da altura do ponto focal em relação a superfície da peça, tendo em vista que, durante o corte esta distância é afetada pelas deformações provocadas na chapa e pelo calor decorrente do processo (INFOSOLDA, 2008).

OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma metodologia avaliativa em relação ao desempenho sustentável, capaz de classificar dois tipos diferentes de processos de corte em metais: Jato d'água e Laser. O método proposto, tem como objetivo oferecer uma visão generalista à cerca dos aspectos a serem avaliados em relação aos dois processos, assistindo na escolha do mais sustentável. Vale ressaltar que as decisões resultantes estarão diretamente ligadas ao conceito de *triple bottom line*, abrangendo simultaneamente os quesitos: ambientais, sociais e econômicos.

Além disso, o trabalho possui como objetivo a apresentação de um método de medição de desempenho em sustentabilidade e seus indicadores, elaborando uma lista de aspectos de desempenho sustentável para processos de corte que utilizam lasers e jato d'água.

METODOLOGIA

Elaboramos este trabalho com base nos conceitos de *triple bottom line* com a finalidade de medirmos os KPI's, divididos em sociais, ambientais e econômicos.

A tabela 1 apresenta os KPI's para cada indicador de sustentabilidade.

Tabela 1. Indicadores de sustentabilidade

Indicador de sustentabilidade	KPI's	Caracterização dos dados
Social	Remuneração por hora	[A]
	Nível de ruído	[A]
	Treinamento	[A]
Econômico	Custo da mão-de-obra	[A]
	Custo de máquina	[B]
	Custo de ferramenta	[B]
	Custo total de produção	[B]
	Tempo de produção	[A]
Ambiental	Consumo de energia elétrica	[A]
	Consumo de insumos	[C]
	Geração de resíduos	[D]

[A] – Obtido por medições no chão de fábrica ou informação obtida pela própria empresa;

[B] – Base de dados eletrônicos;

[C] – Dados não publicados (empresa, laboratório, autoridades, outros);

[D] – Dados da literatura.

Os KPI's remuneração por hora, número de acidentes, treinamento e custo da mão-de-obra foram obtidos a partir de consultas no departamento de recursos humanos da empresa que realizou o corte do material. Para o controle do tempo utilizamos um cronômetro digital AnyTime Stopwatch XL-009 e para a medição do nível do ruído foi utilizado um decibelímetro digital da marca Bruel & Kjaer, tipo 2236. As medições foram feitas nas empresas: Udi Cortes (para o corte por jato d'água) e Agmatec (para o corte por laser).

Para a medição do consumo de energia elétrica, utilizamos um sensor de corrente não invasivo (modelo SCT-013-000) que funciona por meio da lei de Faraday. Mediu-se a tensão em linha do equipamento por intermédio de um multímetro digital Multitoc AC 650 V/10A (modelo DT-830BXXX). O consumo de energia elétrica foi calculado com o emprego da equação 1, onde:

Ul: Tensão em linha;

Il: Corrente de pico;

Fp: Fator de potência ou razão entre as defasagens de tensão e de corrente.

$$Pot_{cons} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} I_{pico} \cdot FP \quad \text{(Kularatna,2008)} \quad \text{Equação (1)}$$

Os KPI's relacionados ao custo ferramental, custo de máquina e custo total de produção foram obtidos a partir de catálogos eletrônicos. Para a mensuração dos resíduos gerados, foi utilizada uma balança digital Gehaka (modelo BK500).

Amostras de aço ABNT 8640, referencias sobretudo na construção mecânica, foram aplainadas para assegurar maior paralelismo entre as superfícies. Foram realizadas, em amostras diferentes, um teste e duas repetições, respectivamente réplica e tréplica. A figura 1 apresenta o desenho técnico de uma amostra utilizada.

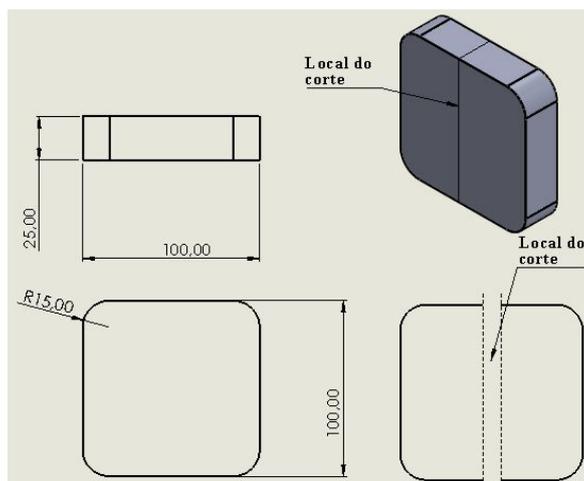


Figura 1: Representação de uma das amostras utilizadas. Fonte: Autores do Trabalho.

No processo de corte por jato de água, realizado na empresa Udi Cortes em Uberlândia/MG, foi utilizada uma máquina fabricada pela empresa Technos Prime Waterjet Solution (modelo Prime Pró 3020) Potência 40 kW, Pressão da água 55000 PSI, 220 V. Foram utilizados aproximadamente de 2 kg do abrasivo Garnet 80 Mesh. Esta máquina utiliza água destilada que circula num circuito fechado com capacidade de 120 litros. A Figura 2 apresenta o corte da amostra pelo processo jato de água.

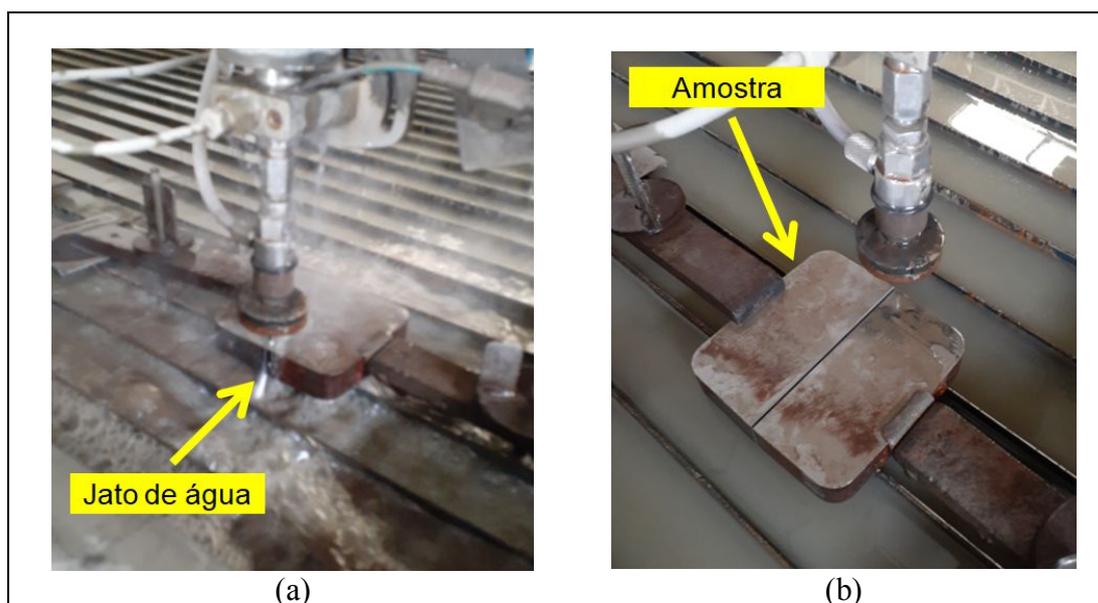


Figura 2: Amostra sendo cortada pelo processo de jato d'água: (a) início do corte; (b) fim do corte. Fonte: Autores do Trabalho.

O processo de corte a laser foi feito na empresa "Agmatec Laser Service" em Ribeirão Preto/SP, nele foi utilizada uma máquina fabricada pela empresa Trumpf (modelo *Trulaser 1030 fiber*), 3000W, com tensão de 380V. O gás utilizado no laser foi o CO₂. A figura 3 apresenta a máquina utilizada.

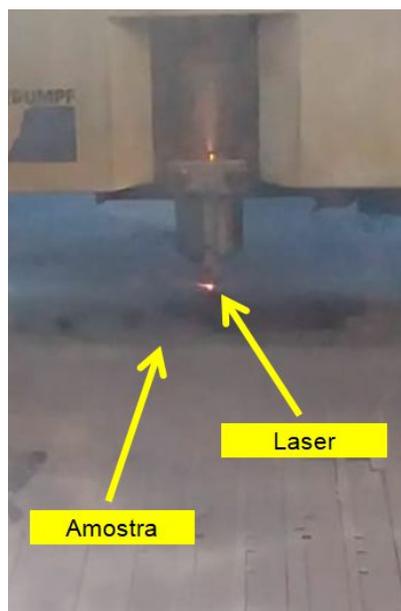


Figura 3: Amostra sendo cortada pelo laser. Fonte: Autores do trabalho.

RESULTADOS

A tabela 2 indica alguns valores relacionados aos custos e especificações de máquina e ferramental do processo de corte por jato d'água.

Tabela 2: Dados relacionados ao maquinário utilizado no corte por jato d'água. Fonte: autores.

Descrição	Valor	Referência
Máquina de corte com jato de água	R\$ 450.000	Feimec (2020)
Abrasivo Garnet 80 Mesh	R\$ 4,50/kg	Zirtec (2020)
Velocidade de corte	45 mm/s	Empresa
Pressão da água	60.000 psi	Empresa
Número de peças fabricadas até a troca da água	100.000 peças	Empresa
Tempo médio de manutenção	20 h	Empresa

A tabela 3 indica os índices de sustentabilidade para o processo de jato d'água.

Tabela 3: Indicadores de sustentabilidade referentes ao corte por jato d'água. Fonte: Autores do trabalho.

	Indicadores	Unidade	Quantidade
Ambiental	Consumo de energia	kW/peça	0,15
	Consumo de insumo:		
	- Abrasivo	g/peça	0,50
	Geração de resíduo:		
	- Material da peça	g/peça	30
Social	Remuneração por hora		
	Salário médio R\$ 2.500,00/mês	R\$/h	15,625
	Número de acidentes	acidente/10000 h de trabalho	1
	Nível de ruído	dB	87,6
	Treinamento	horas/ano	25h
Econômico	Custo da mão-de-obra	R\$/peça	0,6641
	Custo de máquina	R\$/peça	9,00
	Custo de ferramental		
	- Custo com abrasivo	R\$/peça	2,25
	Custo total de produção	R\$/peça	11,9141
	Tempo médio de produção	s/peça	81

A tabela 4 indica os valores e especificações da máquina e ferramental utilizados no processo de corte a laser.

Tabela 4: Dados referentes aos custos e especificações do maquinário empregado no corte a laser. Fonte: Autores.

Descrição	Valor	Referência
Máquina de corte laser	R\$ 1.500.000,00	Trumpf (2020)
Distância do bocal do laser para a peça (mm)	1 mm	Empresa
Pressão do gás oxigênio	0,5 bar	Empresa
Vazão do gás oxigênio	8 l/min	Empresa
Carga de gás oxigênio (40 l)	R\$ 100,00	White Martins (2020)
Diâmetro do bico	2,3 mm	Empresa
Velocidade de corte	0,5 m/min	Empresa
Número de peças fabricadas até a recarga do gás	1.000.000 peças	Empresa
Tempo médio de manutenção	40 h	Empresa

A tabela 5 mostra os KPI's relacionados a esse processo.

Tabela 5: KPI's relacionados ao corte a laser. Fonte: Autores.

	Indicadores	Unidade	Quantidade
Ambiental	Consumo médio de energia	kW/peça	0,012
	Consumo de insumo:		
	- Gás oxigênio	l/peça	2,4
	Geração de resíduo:		
	- Material da peça	g/peça	51
Social	Remuneração por hora		
	Salário médio R\$ 5.000,00/mês	R\$/h	31,25
	Número de acidentes	acidente/10000 h de trabalho	1
	Nível médio de ruído	dB	77
	Treinamento	horas/ano	60
Econômico	Custo da mão-de-obra	R\$/peça	0,156
	Custo de máquina	R\$/peça	12,500
	Custo de ferramental		
	- Custo com oxigênio	R\$/peça	0,960
	Custo total de produção	R\$/peça	13,616
	Tempo médio de produção	s/peça	18

INDICADORES SOCIAIS

Na figura 5 é apresentado o comparativo dos processos de corte supracitados em relação aos KPI's sociais. Note que o processo de corte a laser exige um treinamento maior, tendo em vista que é uma máquina mais complexa e que demanda maior conhecimento técnico em sua operação. Isso reflete diretamente no salário do operador, que por sua vez, é o dobro do salário do operador da máquina de jato d'água.

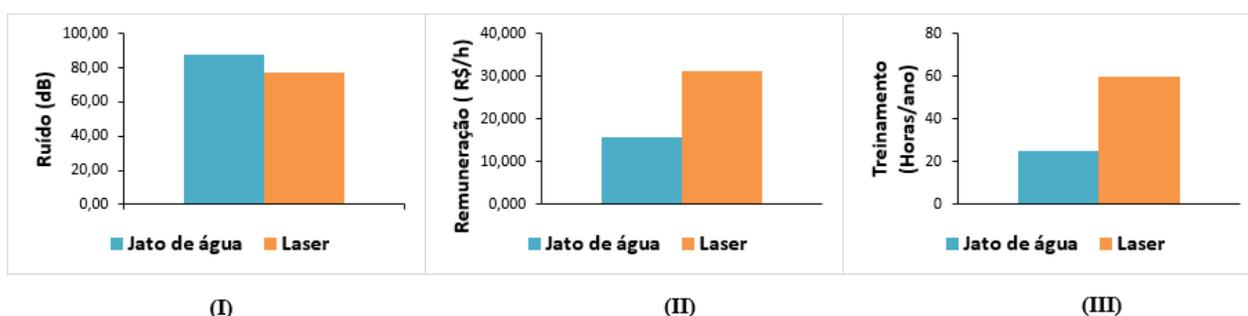


Figura 5 : Comparação entre os processos de corte para os indicadores sociais: (I) Ruído; (II) Remuneração; (III) Treinamento em Horas/ano. Fonte: Autores.

INDICADORES AMBIENTAIS

A Figura 6 indica a comparação entre os dois processos corte para os indicadores ambientais. Nota-se que o processo por jato d'água gasta mais energia por peça cortada, um dos fatores que implicam nisso é o fato de que esse processo gasta um tempo bem maior para realização dos cortes.

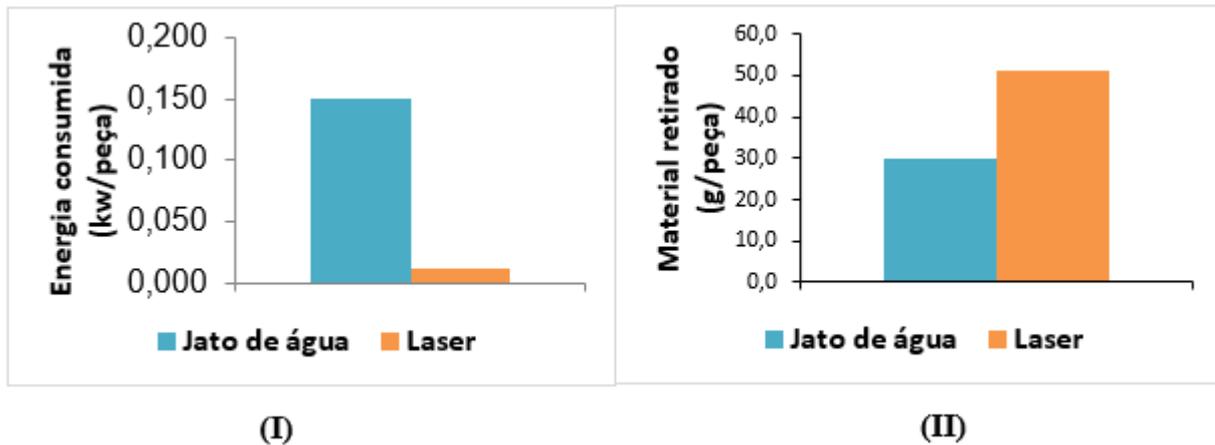


Figura 6: Comparação entre os processos de corte para os KPI's ambientais: (I) Consumo de energia; (II) Material retirado. Fonte: Autores

INDICADORES ECONÔMICOS

A Figura 7 mostra a comparações entre os processos de corte para os KPI's econômicos. O custo total de produção referente ao processo a laser é maior devido ao KPI custo de máquina. Este KPI leva em conta os gastos com manutenção, energia e custos com o equipamento.

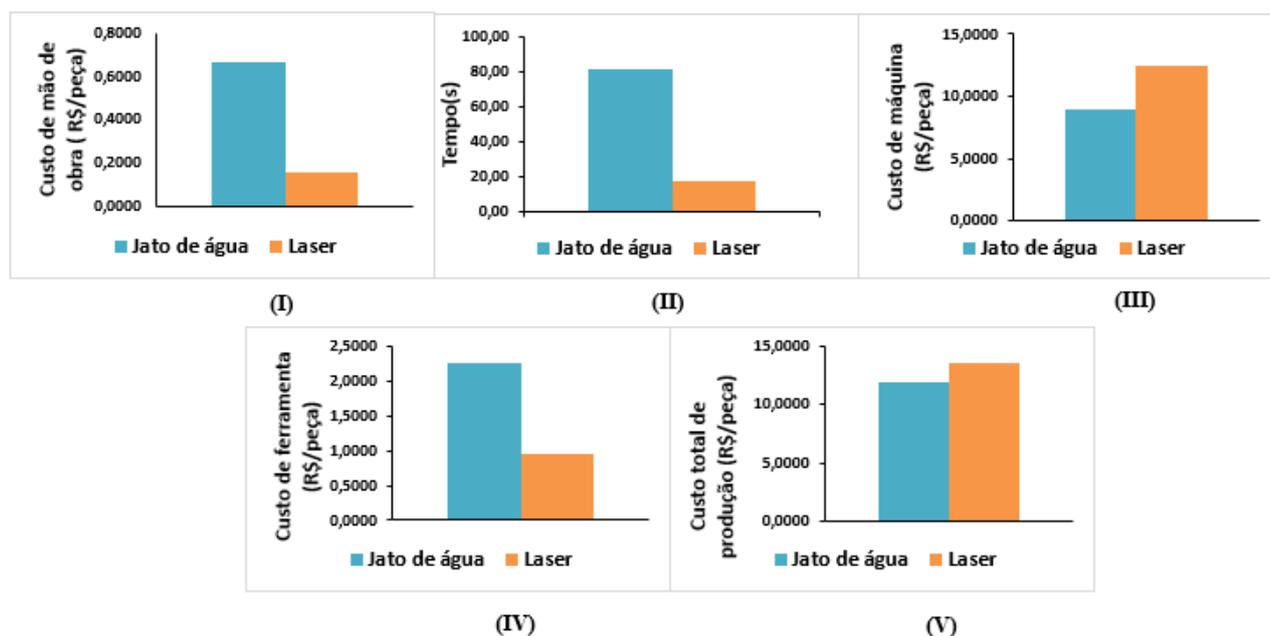


Figura 6 – Comparação entre os processos de corte para os indicadores econômicos: (I) Custo de mão de obra; (II) Tempo de corte; (III) Custo de máquina; (IV) Custo de Ferramenta; (V) Custo de Produção. Fonte: Autores

CONCLUSÃO

Buscando auxiliar na tomada de decisão, a Figura 8 apresenta os KPI de forma condensada. Vale notar que o processo a laser obteve um melhor desempenho nos KPI's ambientais (mesmo que retire mais material, o consumo de energia elétrica é bem menor). Porém isso não se repete no KPI social, além disso o custo de produção pelo processo a laser é maior. Desta forma, com essa metodologia fica a cargo da empresa definir suas prioridades e escolher qual processo se adequa melhor a elas.

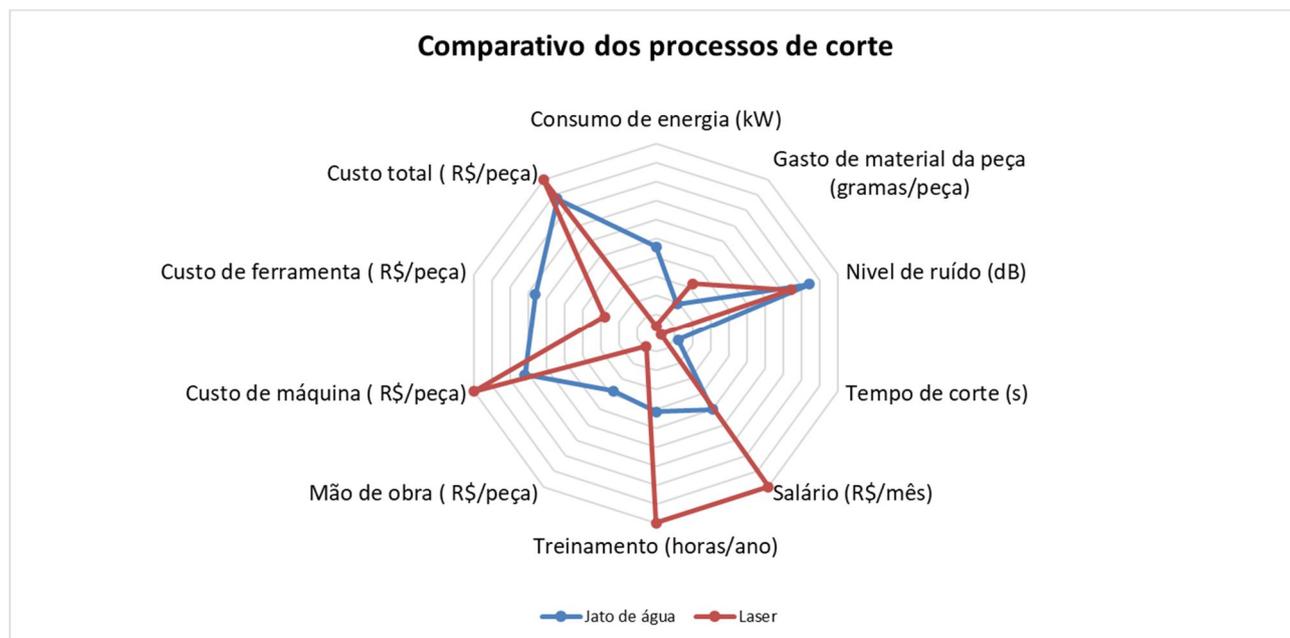


Figura 1: Comparação dos indicadores de sustentabilidade de forma condensada

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Labuschagne, C., Brent, A. C., Van Erck, R. P. G., 2005, “Assessing the sustainability performances of industries”, *Journal of Cleaner Production*, 13, p. 373-385
2. Fiksel, J.; Mcdaniel, J.; Mendenhall, C., 1999, “Measuring Progress towards Sustainability Principles”, *Process and Best Practices*. Ohio: Battelle Memorial Institute.
3. Jin, X. e High, K.A. (2004), “Application of Hierarchical Life Cycle Impact Assessment in the Identification of Environmental Sustainability Metrics”, *School of Chemical Engineering, Oklahoma State University*, 423 Engineering North Stillwater, Oklahoma 74078 U.S.A.
4. AZAPAGIC, A., 2004, “Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry”, *Journal of Cleaner Production*, 12, , p. 639-662;
5. ESFAHBODI, A., ZHANG, Y., WATSON, G., ZHANG, T., 2016, “Governance pressures and performance outcomes of sustainable supply chain management - an empirical analysis of UK manufacturing industry”, *J. Clean. Prod.*, p 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.098>;
6. Silva, D. A. L., Filleti, R. A. P., Christoforo, A. L., Silva, E. J., Ometto, A. R., 2015, “Application of Life Cycle Assessment (LCA) and Design of Experiments (DOE) to the monitoring and control of a grinding process”, *The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering. Procedia CIRP* 29, p.508-513;
7. Infosolda, 2019, “Portal Brasileiro da Soldagem”, disponível em: www.infolsolda.com.br, acesso em 10 de dezembro de 2019;
8. FEIMEC, 2019, “Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos”, Catálogo oficial, São Paulo, Brasil;
9. ZIRTEC, 2020, “Abrasivo Garnet”, Disponível em: <http://www.zirtec.com.br/abrasivos/abrasivo-garnet/>, acesso em 02/06/2020 as 10 h;
10. TRUMPF, 2020, “Catálogo: Trulaser 1030 fiber, 1040 fiber, 1060 fiber”, Catálogo de vendas, São Paulo, Brasil;
11. WHITE MARTINS, 2020, “Catálogo: Gases especiais e equipamentos”, Osasco, São Paulo;.