



# Influência do potencial de nitretação na formação da camada nitretada em aços ao carbono

## *Influence of nitriding potential on the formation of nitrified layer in carbon steels*

Kleller Adão Lima Borba (orientado)\*, Euclides Alexandre Bernadelli (orientador)†,

### RESUMO

A análise do estudo parte da influência na variação do potencial de nitrogênio para nitretação de aço carbono. O plano de trabalho apresentou o objetivo da avaliação para as condições a 10, 50 e 80% de N<sub>2</sub> utilizando fluxo pulsado de gás na nitretação do aço AISI 4140. Entretanto, por consequência das restrições logísticas impostas pelo período de pandemia mundial, foi atribuído ao trabalho o formato de artigo de revisão, baseando-se na pesquisa sobre a literatura gerada a partir de estudos em áreas correlatas ao objetivo de estudo do trabalho, realizado a partir de quatorze trabalhos de referência. Os resultados da literatura mostram que a concentração de N<sub>2</sub> influencia na formação da camada de compostos, sendo que quanto maior a concentração de nitrogênio maior a camada de compostos e de difusão, também aumenta a dureza superficial, além de enfocar a camada de compostos e a utilização de incrementação nitrogênio e carbono ou metano para aumento da dureza superficial e ou redução de sua espessura.

**Palavras-chave:** Potencial de nitrogênio, Camada Nitretada, Plasma, Nitretação.

### ABSTRACT

The study analysis starts from the the influence of nitrogen potential for nitriding in AISI 4140 steel. The working plan presented the objective to evaluation at conditions 10, 50 and 80% of N<sub>2</sub> using pulsed nitrogen flow in the plasma nitriding steel AISI 4140. However, as a result of logistical limitations caused by the world pandemic period, the new agreed format as review article based on studies on literature written on correlated areas on order to study of this work, referenced as of fourteen articles. Starting by the result shown of literature, the N<sub>2</sub> variation would influence the formation of compound layer, to higher concentration bigger the compound layer, and increases the superficial hardness, besides the compound layer and adding nitrogen and carbon for the increase superficial hardness and/or reduce in thickness.

**Keywords:** Nitrogen potential, Nitriding layer, Plasma, Nitriding.

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme o desenvolvimento e consequente aprimoramento da ciência e da tecnologia, a demanda de matérias primas sempre foi crescente, e de igual forma, a otimização das propriedades e consequente desempenho dos mesmos, com intuito de aumento da durabilidade, viabilidade e custo benefício dos materiais.

Para o aço, pertencente a categoria das matérias primas, utilizando em inúmeras aplicações devido aos seus bons parâmetros de durabilidade e modificação de propriedades conforme sua futura aplicação e utilização, a otimização de propriedades se dá por uma variedade de processos, dentre esses, os tratamentos termoquímicos são notórios dentre os tratamentos superficiais, pois além das mudanças estruturais, apresenta alterações diretas na composição química superficial dos materiais (FORMIGA, 2018).

Assim, o processo de nitretação a plasma surge como alternativa devido ao seu apelo a conservação ambiental pela nula produção de resíduos poluentes e alta viabilidade econômica quando equiparado para com

\* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [kleller.lima@gmail.com](mailto:kleller.lima@gmail.com)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Paraná, Brasil; [ebernadelli@utfpr.edu.br](mailto:ebernadelli@utfpr.edu.br)



o alto valor tecnológico agregado aos produtos derivados deste processo (ALVES, 2001), assim como a possibilidade de controle sob a camada nitretada a partir do controle sobre os parâmetros do processo, tais como temperatura, tempo e composição da camada gasosa (SILVA, 2006).

Em 2017 Sphair propôs uma nova forma de controlar a formação da camada nitretada no aço ISO 5832-1 (similar ao AISI 316L), em seu trabalho a autora utilizou fluxo pulsado de nitrogênio e observou ser possível controlar a introdução de nitrogênio na camada nitretada e desta forma controlar sua espessura, tensão residual e dureza.

Partindo da possibilidade de controle das camadas obtidas por nitretação conforme o controle dos parâmetros de processo, para o estudo é destacada a indagação sobre: Qual o efeito da variação do potencial de nitrogênio durante a nitretação utilizando fluxo pulsado de gás no aço AISI 4140.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar quais influências a variação do potencial de nitrogênio em processo por fluxo pulsado apresentou sob as propriedades físicas, químicas e mecânicas, e também na formação da camada de compostos de difusão no aço tratado AISI 4140. Entretanto, devido à pandemia, não foi possível a conclusão do trabalho e, desta forma, o trabalho traz uma revisão de estudos existentes a respeito da influência do potencial de nitrogênio na formação da camada nitretada em aço-carbono.

## 2 MÉTODOS DA PESQUISA

A metodologia de pesquisa para o trabalho utilizou o formato de revisão de artigos, a partir de pesquisas e esclarecimento sob a mesma temática em estudos sobre nitretação a plasma e a influência da variação do potencial de nitrogênio e em processos de plasma.

Conforme a pesquisa descritiva sobre os artigos, baseado em quatorze estudos de referência, tais quais apresentaram diferentes abordagens centrais, utilizando para variação de parâmetros além do próprio potencial de nitrogênio, tal como a temperatura, tempo, fluxo, variação no pulso de nitrogênio assim como as variações específicas no processo para devidas aplicações para o aço AISI 4140, além da averiguação da influência na superfície tais como variação microestrutural, topográfica e as propriedades do material tratado.

## 3 RESULTADOS

Após realizar a pesquisa descritiva sobre os artigos, apresentando o contexto, aplicação objetivos e resultados individuais, possibilitando a análise sobre os pontos pertinentes ao objetivo central do estudo para formulação de suas devidas conclusões.

O primeiro trabalho (ZAMBON, 2011) centralizou sua pesquisa sob a influência da variação da temperatura em processos de nitretação a plasma dos aços AISI 4140, AISI 420c e DIN 16Mn Cr5 com a atmosfera gasosa composta de 20%N<sub>2</sub> e 80%H<sub>2</sub>, onde foi realizado o estudo sobre a aplicação de nitretação por plasma em correntes industriais, as quais sofriam com a deterioração dos componentes, principalmente por desgastes por abrasão e corrosão. Apresentou-se que a correlação do aumento da espessura nitretada conforme o aumento da temperatura e da concentração de nitrogênio. A maior concentração de nitrogênio (80%) propiciou uma maior presença de nitretos  $\gamma'$ (Fe<sub>4</sub>N),  $\epsilon$  (Fe<sub>2-3</sub>N) e CrN, estes sendo responsáveis pela dureza superficial alta das amostras tratadas para esse estudo.

O segundo trabalho (PEREIRA, 2020) apresentou um estudo sobre a influência da variação de vários parâmetros de processo, para os tempos de 2 e 4 horas, para as temperaturas de 450°C e 550°C e para fluxo de



nitrogênio pulsado com nitrogênio constante e P0218 (2 minutos de fluxo de nitrogênio e 18 minutos sem fluxo de nitrogênio) para nitretação a plasma em aços AISI 4140 e AISI 4340. Para as amostras tratadas com fluxo constante de nitrogênio obteve-se maior profundidade de endurecimento e dureza de topo. Foi verificado que a temperatura de nitretação influencia diretamente nas durezas de topo das amostras, assim como o tempo de processo e à temperatura de tratamento influencia na espessura das camadas de difusão e de compostos, sendo que quanto maior forem esses parâmetros, mais espessas serão as camadas, sobre a formação de fases  $\epsilon\text{Fe}_{2-3}\text{N}$  e  $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$  tem mais recorrência em amostras tratadas com fluxo pulsado, enquanto o fluxo constante resulta numa fase de  $\alpha'$  em uma faixa não observada nas nitretações pulsadas, também observado que a variação do fator tempo possui menor influência do que o fluxo de nitrogênio e a temperatura nas propriedades das camadas resultantes do tratamento.

O terceiro trabalho (CORENGIA, 2005) centralizou sua pesquisa sob a influência do tempo de nitretação a plasma nas propriedades da superfície do aço AISI 4140 para a composição de 25%  $\text{N}_2$  75%  $\text{H}_2$  para a temperatura a  $500^\circ\text{C}$  e a tempo de processo variando de 1 a 28 horas. Foi possível observar a correlação entre o aumento do tempo de processo para com maior profundidade da camada endurecida, porém, para processos muito longos há diminuição na dureza do núcleo, pois as partículas precipitadas apresentam menor densidade e também maiores dimensões e são mais sujeitas ao engrossamento das fases presentes na microestrutura e a formação de possíveis fases novas.

O quarto trabalho (MONÇÃO, 2019) analisou a influência da nitretação no aço AISI 4140 para aplicações industriais, com variação de temperatura  $500^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$  e  $600^\circ\text{C}$  com 3 horas de processo utilizando camada gasosa 25%  $\text{N}_2$  75%  $\text{H}_2$ . Foi apresentado aumento da rugosidade superficial nas amostras e também aumento da Microdureza superficial (280-300 HV1 para 649-759 HV0,05) e na profundidade das camadas nitretada (entre  $256\mu$  e  $358\mu$ ). A variação da temperatura influenciou sobre o potencial de difusão do nitrogênio na matriz do aço, pois em maiores temperaturas, maior a formação de nitretos e maior espessura da camada nitretada, consequentemente maior espessura da camada de compostos acarretando maior porosidade e maior fragilidade.

No quinto trabalho (YILDIZ, 2020) apresentou o estudo sobre a análise da influência da variação na distância do bico de pistola de plasma em 50, 60, 70 e 80 mm e da influência da variação da frequência dos pulsos em 5, 10 e 15 pulsos na nitretação a plasma pulsado. A distância do bico e número de pulsos influenciou a mudança das propriedades mecânicas, para maior número de pulsos para distância do bico otimizada, maior espessura da camada endurecida. Devido ao pulso de plasma, a nitretação superficial no aço AISI 4140 produziu camadas com fases ricas em tungstênio e nitreto ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ), ( $\text{W}_3\text{O}$ ), ( $\text{W}$ ), ( $\text{FeN}$ ) e ( $\gamma\text{-Fe}$ ) aumentando proporcionalmente ao aumento no número de pulsos.

No sexto trabalho (SHARMA, 2014) apresentou o estudo da variação da propriedade de dureza para temperaturas de  $450^\circ\text{C}$ ,  $475^\circ\text{C}$  e  $500^\circ\text{C}$  para um processo com duração de 10 horas a 4,5mbar e composição gasosa de 25%  $\text{N}_2$  75%  $\text{H}_2$ . Para maior percentual de  $\text{H}_2$ , apresentou maior economia da produção, maior profundidade na camada nitretada e maior dureza. O aço de estudo AISI 4140 apresentou fase predominante de  $\epsilon\text{Fe}_3\text{N}$  na superfície, além de indicar uma relação entre o aumento da Microdureza superficial e a formação da fase de nitreto na camada nitretada.

O sétimo trabalho (OCHO, 2006) apresentou estudo na nitretação iônica do aço AISI 4140 por células de Kaufmann a  $550^\circ\text{C}$  a 1, 4 e 9 horas. Para determinar o perfil de nitrogênio nas amostras, foi aplicado a comparação entre a concentração de nitrogênio versus a dureza pelo perfil, onde a camada nitretada composta por fases  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) e  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ), onde  $\gamma'$  com maiores grãos de fase martensítica, mesmo que totalmente formada por precipitados de forma fina.

O oitavo trabalho (PIEDAD-BENEITEZ, 2013) apresentou estudo sobre os efeitos da nitretação a plasma na corrosão e Microdureza no aço AISI 4140, para baixa tensão de polarização (400v) e variação do tempo em



1, 3, 4, 5 e 6 horas. Foi apresentado a eficácia da descarga e polarização em baixa tensão, pois houve grande aumento na dureza Vickers para todos tempos de processos, além da melhora sobre o comportamento eletroquímico do processo averiguada por testes potenciostáticos, para períodos acima de 4 horas, ocorreu alta pulverização catódica, pois houve a remoção das fases  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) e  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) mesmo sem apresentar redução na dureza das amostras.

O nono trabalho (OCHOA, 2003) apresentou estudo sobre a importância da corrente iônica na densidade do perfil de dureza, além da concentração de nitrogênio conforme o aumento da profundidade no aço nitretado por plasma pulsado AISI 4140. Foi apresentado aumento da dureza pela técnica de plasma pulsado, além da baixa dependência da dureza superficial da camada de compostos pela densidade da corrente, as mudanças na concentração de nitrogênio na superfície produziram variações na difusão de nitrogênio pelo volume, reduzindo a dureza do material.

O décimo trabalho (SKONIESKI, 2008-1) apresentou estudo sobre a influência da variação das misturas gasosas  $\text{N}_2+\text{H}_2$  na câmara de nitretação a plasma nas propriedades mecânicas e metalúrgicas das superfícies do aço AISI 4140 a  $500^\circ\text{C}$  por 6 horas. Para baixas concentrações de  $\text{N}_2$  (10%) resultaram numa camada nitretada mais tenaz e com melhor viabilidade para tratamentos posteriores de deposição de filmes finos. Para altas concentrações de  $\text{N}_2$  (80%) apresentou-se maiores durezas e maior resistência a desgastes abrasivos. Para concentrações intermediárias de  $\text{N}_2$  (50%) foi demonstrada ineficiência na formação de monofases  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) para processos inferiores a 6 horas. O aumento na espessura da camada de compostos é proporcional ao aumento da concentração de  $\text{N}_2$ , o aumento na dureza superficial acontece se houver incrementação simultânea de nitrogênio e carbono ou de metano, para o primeiro caso, há formação de precipitados e perda de tenacidade na camada, para o segundo, reduz a espessura, porosidade e rugosidade da camada de compostos.

O décimo primeiro trabalho (SKONIESKI, 2008-2) apresentou a caracterização de amostras nitretadas a plasma com a variação de cinco parâmetros de processo além da análise sobre a influência da adição de gases hidrocarbonetos e variações microestruturais e morfológicas com variação da mistura  $\text{N}_2 + \text{H}_2$  a  $500^\circ\text{C}$ . O aumento da espessura da camada de compostos é proporcional ao aumento de  $\text{N}_2$  devido ao efeito barreira para o carbono, que difunde no núcleo em direção a superfície em decorrência das diferenças de potenciais químicos derivados da descarbonetação. O aumento da espessura da camada nitretada relacionada a proporção de  $\text{H}_2 + \text{N}_2$  se dá pela necessidade de nitretações com menor concentração de  $\text{N}_2$  (10%) pois o átomo de hidrogênio, de menor massa e menor momento linear causa menor aquecimento, por isso deve ser mais acelerado conforme aumento da voltagem do processo, e por isso ocorre maior dissociação do  $\text{N}_2$  na atmosfera. Para maior concentração de  $\text{N}_2$  (80%) há camada de compostos mais espessa, com maiores zonas de difusão e durezas. Para baixa concentração de  $\text{N}_2$  (10%) houve geração de monofase na superfície.

O décimo segundo trabalho (MARTINS, 2019) avaliou a variação da concentração de  $\text{N}_2$  durante o ciclo de nitretação a plasma e a formação da camada de difusão e de compostos, com controle do fluxo para 5 diferentes situações, onde todas apresentavam 20% do percentual de Argônio além de serem repetidas até houver 120 minutos de processo, onde duas situações com concentração de nitrogênio constantes, C1 =  $5\%\text{N}_2 + 75\%\text{H}_2$ , C2 =  $75\%\text{N}_2 + 5\%\text{H}_2$ , e também 3 situações com variação de nitrogênio, para V1 inicialmente teria  $5\%\text{N}_2 + 75\%\text{H}_2$  depois  $20\%\text{N}_2 + 60\%\text{H}_2$  depois  $5\%\text{N}_2 + 75\%\text{H}_2$ , todos com 40 minutos de duração, para V2 inicialmente teria  $75\%\text{N}_2 + 5\%\text{H}_2$  depois  $50\%\text{N}_2 + 30\%\text{H}_2$  depois  $25\%\text{N}_2 + 55\%\text{H}_2$  depois  $2\%\text{N}_2 + 75\%\text{H}_2$  onde os tempos de processo seriam 10, 10, 10 e 90 minutos, e para V3 inicialmente teria  $20\%\text{N}_2 + 60\%\text{H}_2$  depois  $80\%\text{H}_2$  por 2 minutos de duração. Com o aumento da concentração de  $\text{N}_2$  há o favorecimento na formação da fase  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) e camadas de compostos e de difusão mais espessas com alta dureza. Para baixas concentrações de  $\text{N}_2$  (10%) a formação de compostos pode ser suprimida, e também a diminuição da concentração de nitrogênio da camada nitretada. Para altas concentrações de  $\text{N}_2$  (80%) apresenta-se grandes



camadas de compostos, porém ao realizar Revenimento a camada nitretada se decompõe para formação da fase  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) acarretando numa camada de compostos mais espessa, e também, ocorrem leves reduções na profundidade de endurecimento e aumento da dureza de topo devido à maior camada de compostos  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ , rica em nitrogênio. Se utilizar alta concentração de  $\text{N}_2$  (80%) no início do processo e reduzir a concentração conforme o tempo, é possível que haja crescimento da camada de difusão, além da variação de  $\text{N}_2$  torna possível controlar a espessura da camada de composto e das fases formadas.

O décimo terceiro trabalho (CASTELETTI, 2010) apresentou o estudo sobre a viabilidade da nitretação a plasma e as modificações nas propriedades dos aços com variação de temperatura a  $400^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$  e  $500^\circ\text{C}$  a 5mbar. Foi possível analisar o aumento das camadas nitretada com aumento da temperatura, contendo  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ) assim como elementos de liga (CrN), tais quais responsáveis pela alta dureza superficial resultante.

O décimo quarto trabalho (SKONIESKI, 2013) avaliou as propriedades do aço AISI 4140 nitretado a plasma e a relação da influência de diferentes misturas de gases a  $500^\circ\text{C}$  por 6 horas. Para baixas concentrações de  $\text{N}_2$  (10%) as camadas de nitretação apresentam maior resistência, para amostras de 6 horas de processo já era apresentado uma camada de  $5\mu\text{m}$  de camada de fase única  $\gamma'$  ( $\text{Fe}_4\text{N}$ ). Para altas concentrações de  $\text{N}_2$  (80%) houve aumento da dureza da camada composta, aumento da fase  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ), porém apresentou camadas mais porosas e frágeis, porém, se houver adição de metano na composição, a camada composta formada é mais fina e apresenta majoritariamente a fase  $\epsilon$  ( $\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ ) e maior dureza dentre todas amostras do estudo.

#### 4 CONCLUSÃO

Através do estudo da influência da variação do potencial de nitrogênio em 10%, 50% e 80% para nitretação a plasma pulsado no aço AISI 4140, a partir da análise segundo a conformidade dos resultados apresentados por meio dos quatorze artigos de referência, obtiveram-se as devidas conclusões.

Para processos com menor percentual de  $\text{N}_2$ , apresentou camadas nitretadas com maior potencial tenaz e melhor viabilidade para tratamentos posteriores de deposição de filmes finos, porém ocorre formação de compostos de forma suprimida e menor concentração de nitrogênio na camada de difusão, assim como a possibilidade de apresentar monofase  $\gamma'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$  na superfície em processos acima de 6 horas e, além disso, após a formação da camada branca pode apresentar efeito barreira para descarbonetação para atmosfera do plasma, acarretando na redistribuição do carbono na superfície inicialmente descarbonetada.

Para processos com percentual intermediário de  $\text{N}_2$ , apresentou camada composta espessa, apresentando maior percentual da fase  $\gamma'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$  do que da fase  $\epsilon\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ , além da ineficiência na formação de monofases para processos inferiores a 6 horas; também conforme o aumento do percentual de  $\text{N}_2$  há o aumento da dureza na camada composta, devido ao aumento da fase  $\epsilon$  que torna a camada mais porosa e frágil.

Para processos com maior percentual de  $\text{N}_2$ , apresentou maiores durezas superficiais e de topo, maior zona de difusão, porém leve redução na profundidade de endurecimento, favorece a formação da fase  $\gamma'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$ , apresenta camadas de compostos mais espessa com a fase  $\epsilon\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ , favorecendo a alta dureza, também apresenta melhor aplicabilidade para peças que requerem maior resistência a desgaste abrasivo assim como maior rugosidade que acarreta na maior viabilidade para aplicação de filmes finos e sua devida adesão.

Quanto a importância da camada branca, a qual aumenta conforme aumento na concentração de  $\text{N}_2$ , é possível utilizar da incrementação de nitrogênio e carbono na superfície com intuito de aumentar a dureza superficial, ou acrescentando metano, reduz a sua espessura e maior dureza superficial decorrente da presença majoritária da fase  $\epsilon\text{Fe}_{2-3}\text{N}$ .



Além disso, em situações de alto potencial de  $N_2$  no início do processo e diminuindo a concentração do mesmo, torna-se possível o aumento da viabilidade sobre o crescimento da camada de difusão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pelo apoio a pesquisa, projeto universal CNPq 430088/2016-7. A Universidade Tecnológica Federal do Paraná por proporcionar os laboratórios.

## REFERÊNCIAS

ALVES JR., C.; **Nitretação a Plasma: Fundamentos e Aplicações**, Editora Natal, EDUFRRN, 2001. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/1/11807>. Acesso em 02 jul. 2021.

SPHAIR, C. A.; **Nitretação por Plasma de Aço Inoxidável Austenítico com Fluxo Pulsado de Nitrogênio**. 2017. Tese (Mestre em Engenharia Mecânica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2970> . Acesso

ZAMBON, M. F.; **Modification and characterization of the AISI-4140, DIN16MnCr5, AND AISI-420C steels surfaces**, 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/841>. Acesso em 02 jul. 2021.

PEREIRA, M.C.C.; BORGES, P.C.; BERNARDELLI, E.A.; **Efeitos da variação do potencial de nitrogênio, tempo e temperatura na nitretação a plasma de aços AISI 4140**. In: X Seminário de Extensão e Inovação – XXV Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica, 2020, Toledo – Paraná. Disponível em: <https://cdn.congresse.me/fr68trc514ryg1wsbt6v7yzm7c59>. Acesso em 02 jul. 2021

SKONIESKI, A.F.O.; LIMA, E.S.; HIRSCH, T.; ROCHA, A.S.; **Influência da mistura gasosa em processos de nitretação e nitrocarbonetação a plasma do aço AISI 4140**. Dissertação, Mestrado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/14369/000664765.pdf> . Acessado em 02 jul. 2021.

MARTINS, E.; ESCHER, K.; BRUNETTI, C.; BORGES, P. & BERNADELLI, E.; **Efeito da concentração de nitrogênio do plasma na formação da camada de difusão e de compostos de aço AISI 4140**. 2019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/335506989>. Acessado em 02 jul. 2021.