



AVALIAÇÃO DOS FATORES DE IMPACTO NA PRODUTIVIDADE DA SOLDAGEM DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS COM O MÉTODO DE MONTE CARLO

Alexandre Luis Souza Gioia
enggioia@yahoo.com.br
Universidade Federal Fluminense –
UFF, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

Miguel Luiz Ribeiro Ferreira
miguelluiz@id.uff.br
Universidade Federal Fluminense –
UFF, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste artigo é a apresentação de um método para avaliação dos fatores de impacto da produtividade na soldagem de tubulações industriais de aço-carbono soldadas com o processo Eletrodo Revestido. A metodologia utilizada baseia-se na simulação de Monte Carlo e em dados de produtividade coletados em obra gerenciada pela Petrobras na Refinaria Duque de Caxias (REDUC). A ferramenta utilizada é o “software” @Risk6.1 (2013), adaptado para avaliação da produtividade. Este “software” dispõe de recurso para elaboração do gráfico de tornado, através do qual se realiza a análise de sensibilidade, permitindo a detecção das atividades e eventos de maior impacto na produtividade. Os resultados obtidos demonstram a viabilidade da utilização do método, tanto para avaliação dos fatores de impacto na produtividade do procedimento de soldagem, a que se denomina produtividade intrínseca, quanto para a produtividade global, na qual também se consideram os tempos improdutivo, em que a soldagem se encontra paralisada em decorrência de algum evento. A metodologia adotada permite avaliar quais as atividades de maior impacto na produtividade da soldagem, possibilitando a seleção das ações que devem ser priorizadas com vistas a sua melhoria.

Palavras-chave: Fatores de Impacto; Produtividade da Soldagem; Tubulações Industriais; Simulação de Monte Carlo; Análise de Sensibilidade.



1. INTRODUÇÃO

Segundo Tabim (2013), a soldagem é o principal método construtivo na indústria de construção e montagem de instalações industriais, impactando decisivamente a qualidade, o custo e o prazo das obras. Corroborando as afirmações do autor, a American Welding Society – AWS (2002) afirma que, nos principais setores da indústria da construção dos Estados Unidos, a soldagem representa 13,07% do custo total da mão de obra e 12,10% do total das despesas de capital utilizadas na obra. Neste sentido, a monitoração e o controle da produtividade da soldagem são fundamentais para assegurar o sucesso de um empreendimento. Assim, o objetivo deste artigo é avaliar os fatores que impactam a produtividade na soldagem de tubulações industriais de aço-carbono. Para a realização deste trabalho, utilizou-se um banco de dados de produtividade de soldadores em obras executadas na REDUC, empregando o método de Monte Carlo, através do programa computacional @Risk. Cabe destacar que, no que tange à conceituação da produtividade, são adotados dois conceitos, a saber: produtividade intrínseca, que é relacionada ao procedimento executivo de soldagem, sem considerar os intervalos de paralisação da atividade por algum motivo, e produtividade global, na qual são considerados todos os eventos que ocorrem durante a realização da soldagem, contabilizando os tempos de execução e paralisação do processo produtivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produtividade em construção e montagem

A produtividade é a principal informação estatística para o desempenho de um país, onde há avaliações e muitas outras analogias internacionais, sendo uma fonte-chave de competitividade e crescimento econômico em geral, conforme citam Durdyev e Ismail (2014), para quem os dados de atividades – produtivas ou não – são muito úteis para a investigação de impacto da produtividade. Shehata e El-Gohary (2012) afirmam que, na avaliação da produtividade, podem ser usados os seguintes modelos: modelos econômicos; modelos específicos do projeto; modelos orientados para a atividade; produtividade de linha de base; milha (distância) medida; índice de gerenciamento de projetos (PMI); fatores de conversão; técnicas de medição de produtividade; dificuldades na medição da produtividade.

Nos estudos relacionados ao segmento de montagem industrial, são usados dois conceitos de produtividade principais, que são: relação entre o volume de produtos e bens expressos em valor monetário e a quantidade de homens-hora consumidos em sua produção; razão entre o volume

de produtos e bens produzidos expressos em unidades de produção (toneladas, m², metros, entre outros) e a quantidade de homens-hora gastos em sua realização. Segundo Adrian (2004), que aborda conceitos da indústria da construção dos Estados Unidos, a produtividade é o resultado em dólares/homens-hora consumidos na produção de um empreendimento, expressos em US\$, conforme expresso na Equação 1.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Dólares}}{\text{Hh consumidos}} \quad (1)$$

Fonte: Adaptado pelos autores de Adrian (2004)

Na indústria de construção brasileira, observa-se uma carência de estudos sobre produtividade, cenário este que vem sendo modificado nos últimos anos. Neste sentido, Sabóia e Carvalho (1997) registram a ausência de estudos sobre o assunto no final dos anos 80, sendo que, em meados da década de 90, observa-se uma mudança deste quadro com a realização de alguns debates. Cabe destacar que, no caso da indústria da construção brasileira, a literatura evidencia que os indicadores de produtividade comumente utilizados são aqueles que relacionam a quantidade de produção medida em unidades (m², toneladas, metros) pela quantidade de homens-hora despendidos em sua execução. Esta constatação pode ser verificada nos projetos de pesquisa: “Métricas de Desempenho da Indústria”, coordenado por Ferreira *et al.* (2010) e “Mapeamento do Estado da Arte da Tecnologia da Construção e Montagem”, em Ferreira (2009), que envolveram, em sua realização, as principais empresas de engenharia e da indústria do petróleo atuantes no Brasil. Alinhado com este conceito, Lucariny (2013) propõe a utilização do indicador denominado Razão Unitária de Produção (RUP) para monitoração da produtividade em empreendimentos. Neste caso, a RUP é a representação da razão entre os recursos humanos utilizados em determinadas atividades sobre a quantidade de serviços realizados. A Equação 2 demonstra como é calculada a RUP em empreendimentos:

$$RUP = \frac{\text{Quantidade de recursos}}{\text{Quantidade de serviços (QS)}} = \frac{\text{Homens x Tempo}}{\text{QS}} \quad (2)$$

Onde: Quantidade de recursos=quantidade de operários em unidade de tempo;

Quantidade de serviços=serviços efetivamente realizados.

Fonte: Elaborado a partir de Lucariny (2013)

Lucariny (2013) destaca ainda as diferenças entre os indicadores da indústria de manufatura e a construção. Na manufatura, o ambiente de trabalho é controlado, as atividades são repetitivas e padronizadas, o que não acontece em uma obra. A utilização do indicador RUP em projetos de construção e montagem de tubulações industriais é apresentada como GEPOP, um modelo de gestão da produtivi-



dade, desenvolvido por iniciativa da Petrobras em conjunto com universidades, que tem como objetivo a obtenção de melhorias na gestão de custos, prazos e monitoração da produtividade. O trabalho realizado por Araujo *et al.* (2011) discorre sobre a utilização da RUP em obras na Petrobras através do GEPOP.

Em Ferreira *et al.* (2010), são apresentados indicadores de produtividade utilizados pelas empresas de engenharia atuantes na indústria de construção e montagem em obras de plataformas marítimas. Neste trabalho, são apresentados indicadores de produtividade que abrangem o empreendimento como um todo e outros que tratam de atividades específicas, tais como: soldagem, pintura, isolamento térmico, entre outros. No caso da soldagem, o indicador de produtividade estabelecido é a unidade Hh/cm³, que representa a quantidade de homens-hora consumidos na deposição de 1cm³ de solda, incluindo os soldadores, ajudantes e supervisores do primeiro nível da escala hierárquica. Neste sentido, como o foco deste trabalho são os indicadores praticados pela indústria de construção e montagem na soldagem, o indicador de produtividade adotado traduz a quantidade de Hh consumidos na deposição de 1cm³ de solda, que corresponde à unidade Hh/cm³. Este indicador também foi utilizado em Gioia e Silva (2007); Martins (2011) e Tabim (2013), conforme Equação 3:

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Homens – hora (Hh)}}{\text{Volume de solda (cm}^3\text{)}} \quad (3)$$

Onde: Homens-hora=quantidade de Hh consumidos na atividade produtiva ou não (produtividade global);

Homens-horas=quantidade de Hh consumidos na atividade de soldagem sem considerar tempos improdutos (produtividade intrínseca);

Volume de solda=quantidade de solda em volume na unidade cm³.

No desenvolvimento deste trabalho, foram adotados dois conceitos de produtividade: Produtividade Intrínseca (PI) e Produtividade Global (PG). Definiu-se PI como aquela relativa, exclusivamente, ao processo produtivo, sendo que os tempos improdutos, nos quais nenhuma atividade é realizada, não são considerados. Na elaboração deste indicador, são anotadas as quantidades de Hh consumidas exclusivamente na soldagem, que são: esmerilhamento e limpeza de todos os passes, raiz, enchimento e acabamento. No caso da PG, são contabilizados todos os valores de Hh, produtivos ou não, consumidos para a realização da quantidade de volume de solda no período de realização da junta. Assim, este indicador mensura tanto os tempos consumidos na realização da soldagem, quanto os períodos em que o processo produtivo foi interrompido, como por exemplo, o deslocamento de pessoal, paralisações, ocorrência de chuva, falta de material, entre outros motivos. A Equação 3 demonstra o cálculo da PG, considerando a quantidade total de Hh gastos, seja produtiva ou não.

2.2 Fatores de impacto na produtividade em construção e montagem

Hasan *et al.* (2018) desenvolveram um trabalho envolvendo estudos realizados em países de 4 continentes, nos últimos 30 anos, sobre fatores de impacto na produtividade na indústria da construção, e registraram que os mais citados são: falha no suprimento de materiais, supervisão inadequada, baixa capacitação da mão de obra, ferramentas e equipamentos inadequados, desenhos e especificações incompletas, comunicação inadequada, retrabalho, layout inadequado do canteiro de obras, condições atmosféricas adversas e modificações de projeto. Dixit *et al.* (2018) realizaram estudo semelhante, abrangendo artigos publicados entre 2006 e 2017, chegando a resultados muito parecidos. Goodrum *et al.* (2011), em pesquisa realizada através de análise estatística de dados históricos de obras realizadas, registram os principais eventos geradores de improdutividade: disponibilidade da mão de obra, gerenciamento de fluxo de material, controle de cronograma, sistema organizacional de empreiteiras e fluxo de informações no empreendimento. Liu *et al.* (2014) concluem que os principais fatores de impacto na produtividade são: clima, aceleração de atividades para recuperação de atrasos, gestão de equipamentos e baixa utilização do conceito de construtabilidade. Choi e Ryu (2015) realizaram pesquisa do tipo “survey”, concluindo que os principais fatores que impactam a produtividade em obras são: clima, localização do empreendimento, falha de gerenciamento e falha com materiais. Olugboyega (2015) realizou pesquisa bibliográfica sobre o assunto, chegando aos resultados: atrasos de atividades antecedentes; alocação de espaço ineficiente; mão de obra com baixa produtividade; equipamentos deficientes ou insuficientes; atraso no fluxo de informações e paralisações devido a condições climáticas. Estudo de caso conduzido por Bass e Hoover (2015) registra as seguintes ocorrências geradoras de improdutividade: retrabalho, falta de otimização de tarefas, planejamento falho na gestão de equipamentos e materiais e falha de gerenciamento de projetos. Bierman *et al.* (2016), em pesquisa do tipo “survey” aplicada a profissionais atuantes em obras, apontam como fatores que impactam a produtividade os seguintes pontos: mão de obra, falha de gerenciamento, características do local de realização do empreendimento, clima, falha de acompanhamento do consultor (representante da contratante), ferramentas e equipamentos. Destaca-se que todos os fatores citados nos trabalhos mencionados podem ser agrupados, conforme proposição de Adrian (2004), da seguinte forma: fatores relacionados à indústria, causas relacionadas à força de trabalho e fatores relacionados ao gerenciamento.

Afonso Neto *et al.* (2018) sugerem, para mitigar os fatores que reduzem a produtividade, a adoção de uma metodologia baseada em padronização de tarefas, as quais reduzam



a ocorrência de eventos aleatórios, que possam gerar tempos improdutivos durante a jornada de trabalho.

Existem ainda estudos que tratam dos fatores de impacto do ambiente de trabalho no desempenho dos trabalhadores, os quais estão relacionados a aspectos da saúde física e mental dos mesmos. A este respeito, Adrian (2004) lista os seguintes pontos, os quais poderão afetar o desempenho do trabalhador: capacidade física para executar o trabalho, condições ambientais adversas, quebra da continuidade do trabalho, mudanças na logística do projeto, fatores humanos e subjetivos. Ainda com o mesmo foco, Moselhi e Khan (2012) conduziram pesquisa combinando três tipos de técnicas, a saber: redes neurais, análise de regressão e lógica fuzzy. Os resultados da pesquisa apresentaram como principais fatores de impacto na produtividade: temperatura, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento, tamanho da equipe, composição da equipe, tipo de trabalho, altura do serviço e método do serviço. Destaca-se que esta abordagem é importante, porém, não é escopo deste artigo.

2.3 Utilização do método de Monte Carlo

Observa-se na literatura que o método de Monte Carlo é utilizado em várias situações, sendo muito usado em análise de riscos, como em Macêdo *et al.* (2018). Destaca-se que este método é relacionado como uma das ferramentas mais importantes em análise de riscos, segundo o Guia PMBOK PMI (2009), que é um dos modelos de gerenciamento de projetos mais importantes da atualidade. O método baseia-se na geração de números aleatórios a partir de uma base de dados real. No que tange à produtividade, Cho *et al.* (2017) utilizaram a simulação de Monte Carlo para avaliar a produtividade na realização de lajes de concreto, com resultados satisfatórios. Woo (2016) adota este método na avaliação do efeito da realização de horas extras na produtividade, avaliando jornadas de trabalho de 50 e 60 horas semanais, em comparação às tradicionais 40 horas. Já em Pradhan e Akinci (2012), a metodologia é utilizada para desenvolvimento de estudos sobre monitoração da produtividade em planejamento de obras. Ney (2016) adota a simulação de Monte Carlo para avaliar o comportamento do fator de ocupação da mão de obra e da ociosidade de soldadores numa fábrica de tubulações.

2.4 Análise de sensibilidade

É uma ferramenta que pode ser utilizada em muitas circunstâncias, entre as quais, destaca-se a análise de risco em projetos. Ainda no contexto da análise de risco em projetos, os trabalhos de Sousa *et al.* (2018) e Jovanovic (1999) destacam que a utilização da análise de sensibilidade diminui a incerteza do impacto das incertezas decorrentes das

variações de custos, insumos, valor do investimento e outros, nos resultados de um projeto. Morano (2003) procurou descrever o estado da arte na área de análise de riscos para projetos de construção, através de uma ampla pesquisa bibliográfica. A autora afirma que esta técnica permite que se avalie o efeito da variação de cada elemento de custo de um projeto no custo final do mesmo. Destaca ainda que, entre os autores estudados naquele trabalho, existe consenso de que, em situações nas quais se pretende utilizar a análise de sensibilidade, é fundamental que as variáveis consideradas no modelo desenvolvido para o caso sejam independentes.

Tabim (2013) utilizou a **análise de sensibilidade** para avaliar o impacto das variáveis que afetam a produtividade da soldagem de dutos terrestres, avaliando tanto os fatores que afetam a PG quanto a PI. No estudo das variáveis que afetam a PI, foram contabilizados todos os tempos das atividades desenvolvidas no procedimento de soldagem, a saber: soldagem com arco aberto, limpeza entre passes e determinação da temperatura de pré-aquecimento.

Ney (2016) utiliza a análise de sensibilidade, via gráfico de tornado, para avaliar o impacto das variáveis que afetam o fator de ocupação da mão de obra e da ociosidade.

3. METODOLOGIA

3.1 Amostra

Neste estudo, foram utilizados dados de produtividade na soldagem de tubulações de aço-carbono, com processo por Eletrodo Revestido de uma obra de construção e montagem da unidade de tratamento de efluentes industriais de uma refinaria, os quais foram coletados entre os meses de outubro de 2012 a abril de 2013. Os tubos utilizados eram de diversas espessuras e diâmetros, a saber:

- Pequenos - 19 a 50 mm (3/4" a Ø2");
- Médios - 63,5 a 304,8 mm (2 ½" a Ø12");
- Grandes - acima de Ø 355,6 mm (14").

Da mesma forma, o acoplamento destes tubos utilizou diferentes tipos de juntas. Entretanto, neste trabalho, os dados de produtividade apropriados referem-se à execução de juntas de topo com penetração total. O procedimento de coleta de dados consistiu na contabilização da quantidade de homens-hora para a disciplina de soldagem, levando em consideração os tempos de atividade dos trabalhadores consumidos desde a entrada na refinaria, passando por paralisações, tempos consumidos na soldagem, assim como o retrabalho devido à detecção de defeitos em juntas inspecionadas. Ini-



cialmente, os dados foram apresentados na unidade RUP (em Hh/junta), sendo que, neste trabalho, optou-se pela utilização da unidade Hh/cm³, de acordo com a Equação 4.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Homem} - \text{hora (Hh)}}{\text{cm}^3} \quad (4)$$

A quantidade de Hh de soldagem na determinação da PI considera o tempo despendido nas atividades que englobam o procedimento de soldagem, ou seja, os tempos produtivos.

No caso da PG, são considerados os tempos produtivos e improdutivo, nos quais a soldagem encontra-se paralisada em virtude da ocorrência de algum evento.

A apropriação do Hh engloba os tempos gastos nas atividades relacionadas à mão de obra envolvida na soldagem. Na PI, foram consideradas as atividades que compõem o procedimento executivo da soldagem relacionadas na Tabela 1, que são: raiz, enchimento, acabamento e preparo da junta. Por outro lado, no caso da PG, além das atividades que compõem a PI, são considerados os tempos geradores de Hh improdutivo, a saber: canteiro + apoio, delay + paralisação, mobilidade + deslocamento e retrabalho. A Tabela 1 (os dados que propiciaram esse estudo encontram-se na dissertação de Gioia, 2015) demonstra como foram agrupadas essas atividades, assim como o período no qual os dados foram coletados.

3.2 Simulação dos dados de produtividade

Neste trabalho, utilizou-se o método de Monte Carlo para análise do comportamento da PG e PI, que também foi adotado em Martins (2011) e Tabim (2013), com resultados satisfatórios em relação a outros métodos estatísticos para análise de produtividade. O método de Monte Carlo consiste basicamente na geração de números pseudoaleatórios a partir de uma função geratriz, previamente definida uma amostra real e a elaboração das curvas Função Densidade de Probabilidade (FDP) e Função de Densidade Acumulada (FPA) do modelo desenvolvido.

Na aplicação desta metodologia, empregou-se o programa @Risk versão 6.1 (empresa Palisade Corporation), que dispõe do recurso para realização da análise de sensibilidade através do gráfico de tornado, no qual é possível avaliar o impacto de cada variável considerada na média do modelo de indicador de produtividade estudado. O gráfico de tornado é realizado após aplicação do roteiro citado abaixo, com o resultado apresentado nas FDPs e FPA, ou seja, é um componente da simulação da qual é extraído, objetivando-se a análise - nesse caso, a de sensibilidade. Com o gráfico de tornado, possibilita-se a verificação do impacto de cada função utilizada nessa simulação. Com base nos tempos considerados para a PI, PG e volume de solda calculado para cada junta, utilizou-se

o seguinte roteiro: agrupar os dados coletados em tabelas, para geração de histograma de frequência; definir uma distribuição para FDP e FPA, sendo uma variável aleatória e que melhor represente a amostra (que nesse caso foi o próprio levantamento); executar as simulações com 1000 iterações (repetições); avaliar se o número de simulações é satisfatório; após realização das simulações via software, gerar a FDP e FPA para tratamento dos resultados; por fim, gerar gráfico de tornado, com base no desvio da média, para realização da análise de sensibilidade, chegando aos fatores que causam impacto na amostra selecionada.

Para os resultados obtidos, em que a amostra foi o próprio levantamento, os valores encontrados nas funções geraram as FDPs e FPA. A diferença demonstrou estar dentro da tolerância esperada, o que corrobora a utilização da técnica de simulação de Monte Carlo com o nível de iterações que assumem os valores que não foram adotados na amostra. Tabim (2013) pesquisou em diversas fontes nas quais a quantidade de iteração ideal é em torno de 1000, portanto este trabalho procedeu da mesma forma. O modelo utilizado na simulação para avaliação do comportamento da PI é expresso na Equação 5, na qual o volume de solda é o valor absoluto (conforme característica geométrica da junta) e o denominador é a soma das funções das tarefas produtivas.

$$PI = \frac{VS}{f(\text{Hh preparo} + \text{esmerilhamento}) + f(\text{Hh raiz}) + f(\text{Hh enchimento}) + f(\text{Hh acabamento})} \quad (5)$$

Onde: PI = produtividade intrínseca;

VS = volume da junta soldada expresso em cm³;

Hh preparo+esmerilhamento= preparo do bisel da tubulação, limpeza entre os passes de solda e remoção de pequenos defeitos e/ou escória oriundos do processo de solda;

Hh raiz = soldagem com arco aberto no passe de raiz;

Hh enchimento = soldagem com arco aberto nos passes de enchimento;

Hh acabamento = soldagem com arco aberto nos passes de acabamento.

No caso da PG, o modelo é apresentado na Equação (6).

$$PG = \frac{VS}{f(\text{Hh preparo} + \text{esmerilhamento}) + f(\text{Hh raiz}) + f(\text{Hh enchimento}) + f(\text{Hh acabamento}) + f(\text{Hh completa}) + f(\text{Hh canteiro} + \text{apoio}) + f(\text{Hh delay} + \text{paralisação}) + f(\text{Hh mobilização} + \text{deslocamento}) + f(\text{Hh retrabalho})} \quad (6)$$

Onde: PG = produtividade global;

VS= volume da junta soldada expresso em cm³;

Hh preparo+esmerilhamento, Hh raiz, Hh enchimento,

Hh acabamento = conforme equação 5 acima;

Hh completa= soldagem de uma junta com um único passe;

Hh canteiro+apoio= atividades realizadas no canteiro de apoio à montagem;

Hh delay+paralisação= espera dos soldadores para o acoplamento das tubulações, montagem de andaimes, ausência de colaboradores, falha de planejamento, falta de equipamento ou material, falta de energia elétrica, necessidades fisiológicas, movimentação de cargas, realização de inspeções de controle da qualidade, paralisações não frequentes, proximidade do final da jornada de trabalho e tempos ociosos sem justificativa;

Hh mobilidade+deslocamento= atividades de mobilidade e deslocamentos na obra;

Hh retrabalho = atividades que geraram retrabalho nas juntas soldadas.



Tabela 1. Dados coletados da produtividade

Período	Produtividade Intrínseca (Hh/cm ³)					Improdutividade (Hh/cm ³)			
	Raiz	Enchi-mento	Acaba-mento	Preparo junta	Completa	Canteiro + apoio	Delay+ pa-ralisação	Mobilidade + deslocamento	Retraba-lho
01 a 05/10	0,0103	0,0092	0,0187	0,0159	0,0000	0,0099	0,0630	0,0611	0,0000
08 a 11/10	0,0109	0,0047	0,0096	0,0025	0,0045	0,1020	0,0983	0,0617	0,0000
15 a 19/10	0,0095	0,0035	0,0074	0,0080	0,0000	0,0426	0,0354	0,0460	0,0000
22 a 26/10	0,0090	0,0085	0,0216	0,0207	0,0207	0,2009	0,4560	0,1904	0,0000
29/10 a 2/11	0,0066	0,0073	0,0092	0,0052	0,0000	0,0752	0,0525	0,0548	0,0072
05 a 9/11	0,0224	0,0294	0,0489	0,0201	0,0000	0,2393	0,1446	0,1236	0,0000
12 a 16/11	0,0092	0,0141	0,0153	0,0091	0,0014	0,1517	0,0462	0,0620	0,0238
19 a 23/11	0,0094	0,0117	0,0287	0,0121	0,0072	0,0571	0,0827	0,0845	0,0179
26 a 30/11	0,0111	0,0055	0,0000	0,0031	0,0031	0,0445	0,0536	0,0416	0,0246
03 a 7/12	0,0197	0,0192	0,0360	0,0139	0,0000	0,0396	0,0469	0,1204	0,0000
10 a 14/12	0,0154	0,0000	0,0101	0,0111	0,0021	0,0603	0,0350	0,0773	0,0384
17 a 21/12	0,0103	0,0057	0,0256	0,0091	0,0000	0,2974	0,0539	0,0848	0,0000
31/12 a 04/1/13	0,0103	0,0092	0,0280	0,0135	0,0000	0,0937	0,0896	0,0732	0,0000
07 a 11/1/13	0,0000	0,0000	0,0034	0,0151	0,0641	0,8662	0,3129	0,2653	0,0283
14 a 18/1/13	0,0038	0,0008	0,0024	0,0026	0,0027	0,1089	0,0387	0,0580	0,0302
21 a 25/1/13	0,0076	0,0279	0,0330	0,0182	0,0381	0,2080	0,0807	0,0984	0,0000
28/01 a 01/2/13	0,0187	0,0050	0,0066	0,0098	0,0014	0,0553	0,0284	0,0312	0,0039
04 a 08/2/13	0,0072	0,0022	0,0000	0,0006	0,0016	0,0562	0,0497	0,0294	0,0095
18 a 22/2/13	0,0015	0,0000	0,0024	0,0032	0,0136	0,1163	0,0642	0,0781	0,0332
25/2 a 1/3/13	0,0023	0,0021	0,0102	0,0032	0,0000	0,1477	0,0599	0,0883	0,0227
04 a 08/3/13	0,0000	0,0000	0,0294	0,0033	0,0000	0,2872	0,2931	0,2035	0,0316
18 a 22/3/13	0,0112	0,0078	0,0218	0,0105	0,0000	0,2965	0,0171	0,1167	0,0000
25 a 28/3/13	0,0073	0,0040	0,0060	0,0060	0,0033	0,4555	0,0175	0,1657	0,0106
08 a 12/4/13	0,0041	0,0024	0,0061	0,0020	0,0004	0,0262	0,0324	0,0707	0,0425

Fonte: Os próprios autores

Na realização da simulação dos modelos estabelecidos para a PG e PI, adotou-se a quantidade de 1000 iterações, com nível de confiança de 95%. Da mesma forma, para verificação da adequação das funções geratrizes selecionadas das variáveis que compõem os modelos de produtividade estudados, que representam o comportamento dos tempos produtivos e improdutivo, utilizou-se o padrão de 3% para o teste de convergência, que é uma ferramenta disponível no software para esta finalidade. Destaca-se que os resultados obtidos na simulação atenderam aos requisitos estabelecidos, não sendo detectada qualquer anomalia via teste de convergência, o que tornou desnecessário a realização de ajustes em uma ou mais funções geratrizes selecionadas para as variáveis consideradas nos modelos estudados. Assim, é possível concluir que as funções geratrizes estabelecidas para as variáveis dos modelos de produtividade desenvolvidos e a quantidade de iterações utilizadas permitiram a obtenção das curvas função densidade de probabilidade (FDP) e função de densidade de probabilidade acumulada (FPA) no nível de significância estabelecido de 95%. Neste sentido, a elaboração do gráfico de tornado para realização do teste de sensibilidade, para avaliação do impacto de cada

uma das variáveis nos modelos de PG e PI, pode ser utilizada de forma adequada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade intrínseca (PI)

As Figuras 1 e 2 representam, respectivamente, as curvas FDP e FPA, elaboradas a partir dos dados resultantes da simulação de Monte Carlo do modelo desenvolvido para a PI. A Figura 1 apresenta a FDP desenvolvida para a PI conforme Equação (5) e a FPA é representada na Figura 2. Nestas figuras, as curvas FDP e FPA geradas pelos dados amostrais são representadas em azul e as obtidas via simulação, em vermelho, e se apresentam sobrepostas. Os valores das coordenadas do eixo 'x' são expostos em Hh/cm³ e, no eixo 'y', a sua probabilidade em fração. A Tabela 2 apresenta as principais estatísticas da amostra utilizada no desenvolvimento do estudo e os dados de simulação gerados a partir da mesma.

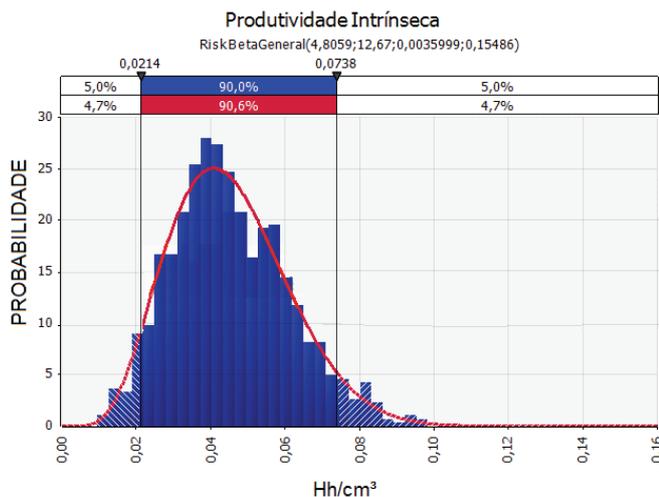


Figura 1. FDP da produtividade intrínseca

Fonte: Os próprios autores

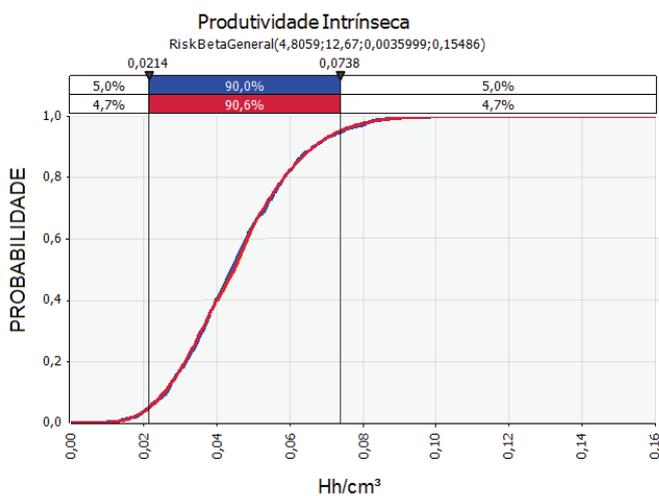


Figura 2. FPA da produtividade intrínseca

Fonte: Os próprios autores

Pode-se observar que as estatísticas da amostra e as obtidas por simulação são bem próximas, o que indica que as funções geratrizes selecionadas para descrever o comportamento das variáveis consideradas no modelo de PI expressa na Equação (5) são adequadas, pois, caso contrário, os resultados seriam discrepantes. Por outro lado, destaca-se que a dispersão representada pelo coeficiente de variação de 0,35, na amostra e nos dados virtuais gerados por simulação, tem grande influência da variável Hh de preparo/esmerilhamento, tendo em vista que a mesma envolve atividades de natureza diferenciada, o que aumenta o seu grau de incerteza. Neste caso, para redução da dispersão, é aconselhável a contabilização, em separado, dos tempos das atividades que são agrupados nesta atividade, a saber: preparo do bisel da tubulação, limpeza entre os passes de solda e remoção de pequenos defeitos e/ou escória. Espera-se que esta medida reduza a dispersão associada a esta variável, pois os tempos

que estariam sendo contabilizados são relacionados a atividades de mesma natureza.

Outro ponto a se destacar é o fato de que, na elaboração de estimativas e procedimentos de monitoração da produtividade com base nestes modelos, deve-se evitar a utilização dos extremos das curvas FDP e FPA, tendo em vista as possíveis inconsistências determinadas por condições de execução extremas, as quais, por exemplo, poderão ocorrer no início e no final da obra pelas variações impostas pela curva de aprendizagem e esquecimento. Da mesma forma, observa-se que é prática comum na indústria a utilização da produtividade média nas estimativas de prazo e orçamento das obras. Entretanto, pode-se verificar, na Tabela 2, que a maior incidência da PI, representada pela moda, é ligeiramente superior à produtividade média, em torno de 4%. Em outras condições, utilizando-se processos e procedimentos de soldagem diferentes, esta diferença pode ser bem mais significativa em valores superiores ou inferiores à média. Assim, a adoção da produtividade média como indicador de produtividade na elaboração de prazos e orçamentos deve ser vista com ressalvas, pois poderá acarretar a elaboração de estimativas excessivamente otimistas ou pessimistas. Neste sentido, o emprego das curvas FPA e FDP, geradas a partir de modelos que descrevam o comportamento da produtividade, permitirá a elaboração de estimativas mais consistentes.

Tabela 2. Estatística dos dados coletados e simulação – PI

Dados estatísticos	Amostra (Hh/cm ³)	Simulação (Hh/cm ³)
Média	0,045195	0,04555
Moda	0,043478	0,04423
Mediana	0,043291	0,04519
Desvio-padrão	0,015735	0,01595
Coeficiente de variação (desvio-padrão / média)	0,35	0,35

Fonte: Os próprios autores

A avaliação dos fatores de impacto na PI pode ser realizada através da análise de sensibilidade, com a utilização do gráfico de tornado apresentado na Figura 3, na qual é possível observar quais são as atividades que têm maior influência. Da mesma forma, a Tabela 3 apresenta os impactos mínimos e máximos na PI decorrentes da variação das variáveis apresentadas no gráfico.

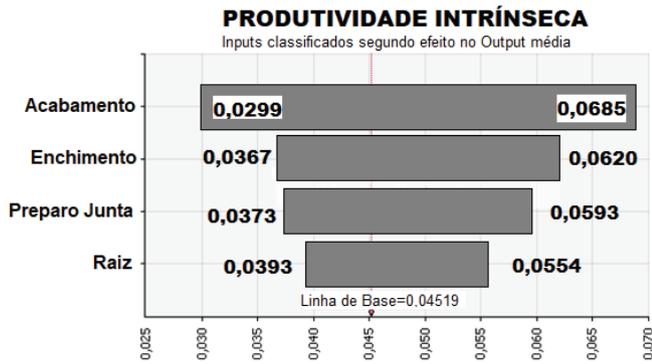


Figura 3. Fatores de impacto na produtividade intrínseca

Fonte: Os próprios autores

Tabela 3. Impacto mínimo e máximo na média da PI

Atividade	Aumento (Hh/cm³)	Redução (Hh/cm³)	Aumento (%)	Redução (%)
Acabamento	0,029911	0,068545	34	52
Enchimento	0,036728	0,062008	19	37
Preparo/esmerilhamento	0,037379	0,059372	17	31
Raiz	0,039364	0,055433	13	23

Fonte: Os próprios autores

Ao analisar a Figura 3 e a Tabela 3, observa-se que as fases de enchimento e acabamento apresentaram o maior impacto, sobretudo, na redução da média da PI, atingindo 52%. Estes resultados estão de acordo com as observações descritas em Tabim (2013), que afirma que o consumo de Hh nos últimos passes representa o maior impacto na produtividade intrínseca. Assim, programas de melhoria da produtividade da soldagem devem considerar ações que visem ao aumento do desempenho nestas fases. No que diz respeito à fase de acabamento, este resultado era esperado, tendo em vista que é comum, em obras industriais, quando da realização da fase de acabamento, o soldador ter a tendência de dispensar maior cuidado na realização dos últimos passes, já que a inspeção visual/dimensional de solda, que ocorre logo após a conclusão da junta, poderá acarretar a reprovação da junta, gerando retrabalho. Havendo retrabalho, o soldador poderá sofrer algum tipo de penalidade, além de afetar negativamente os indicadores de desempenho do mesmo. Os impactos do desempenho das demais variáveis de soldagem situam-se dentro da faixa de variação da PI, representada na Tabela 2 pelo coeficiente de variação, em valores abaixo de 0,35 ou 35% da média. Entretanto, merece destaque o impacto na redução em 31% da produtividade da atividade “preparo/esmerilhamento”, pois esta fase da soldagem não se traduz em deposição de metal de adição, ou seja, quantidade de volume de solda produzido. A relevância do impacto desta atividade também é registrada em Tabim (2013). Cabe destacar que a equipe considerada naquele trabalho é di-

ferente, pois trata-se de uma obra de construção, já a outra, de montagem de dutos. Entretanto, as atividades que compõem o procedimento executivo de soldagem são semelhantes.

4.2 Produtividade global (PG)

A Figura 4 representa os resultados obtidos na simulação para a FDP do comportamento da PG e a Figura 5 representa a respectiva FPA, sendo que as curvas em azul correspondem aos dados amostrais e, as representadas em vermelho, as obtidas via simulação. Os valores das coordenadas do eixo ‘x’ são expostos em Hh/cm³ e, no eixo ‘y’, a sua probabilidade em fração.

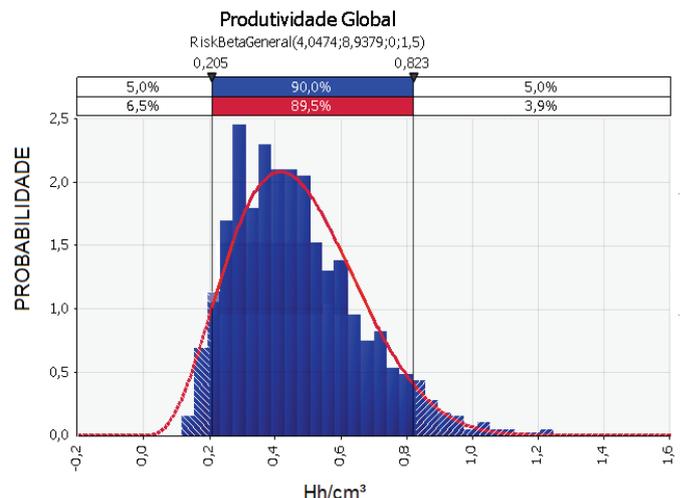


Figura 4. FDP da produtividade global

Fonte: Os próprios autores

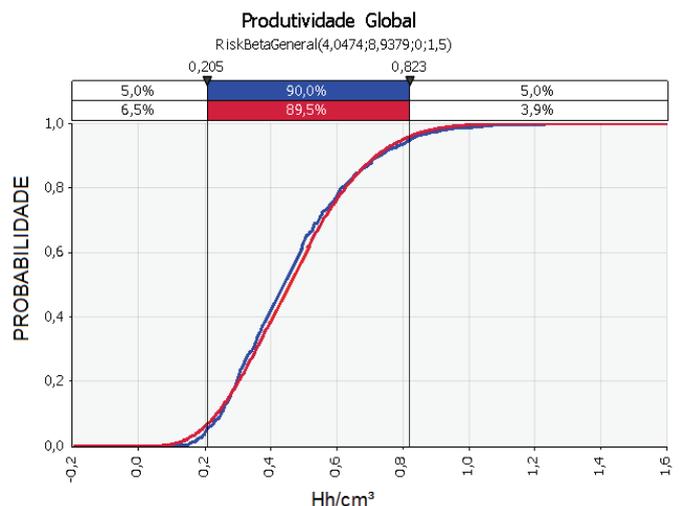


Figura 5. FPA da produtividade global

Fonte: Os próprios autores



Os resultados apresentados na Tabela 4 revelam a semelhança entre os dados amostrais e aqueles desenvolvidos através da simulação. Assim, pode-se afirmar que a simulação utilizando o método de Monte Carlo é uma ferramenta adequada para desenvolvimento de estudos de produtividade em soldagem, conclusão a que também chegaram Martins (2011) e Tabim (2013). Por outro lado, ao analisar a Tabela 4, observa-se uma dispersão de 0,41 na amostra e 0,40 na simulação, expressa pelo coeficiente de variação, que pode ser explicada pela variedade de eventos agrupados em uma única variável. No caso da PG, são contabilizados tempos despendidos em atividades muito heterogêneas de forma bem mais abrangente que no modelo da produtividade intrínseca, o que é um fator ampliador desta dispersão. De forma análoga às recomendações já apresentadas para o modelo da PI para redução da dispersão, é aconselhável a contabilização, em separado, dos tempos das atividades de mesma natureza. Entretanto, a superposição das curvas FPA obtidas pela simulação e pelos dados amostrais validam o modelo desenvolvido para a avaliação do comportamento da produtividade global.

Tal qual na PI, na elaboração de estimativas e procedimentos de monitoração da produtividade com base nestes modelos, deve-se evitar a utilização dos extremos das curvas, tendo em vista as possíveis inconsistências determinadas por condições de execução extremas, as quais poderão ocorrer no início e no final da obra pelas variações impostas pela curva de aprendizagem. Da mesma forma, a prática utilizada pela indústria na adoção da PG média na construção das estimativas de prazo e orçamento das obras deve ser vista com cautela, pois a maior incidência do desempenho, representada pela moda, é superior em 24% à média na amostra e 11% na simulação. Neste sentido, a avaliação da produtividade através das curvas FPA e FDP, geradas a partir de modelos que descrevam o comportamento da produtividade, contribui para a elaboração de estimativas mais adequadas.

Observando-se as Figuras 1, 2, 4, 5 e as Tabelas 2 a 5, constata-se que a PG é cerca de 10 vezes menor que a PI, quando se utiliza a média como base de comparação. Quando se comparam os valores da moda, estes valores são, respectivamente, cerca de 8 vezes menores na amostra e 9 na simulação. Destaca-se que os melhores valores possíveis de serem alcançados na PG situam-se longe dos piores valores obtidos na PI. Neste caso, é possível concluir que as variações relacionadas à produtividade do procedimento de soldagem e representadas pelas FDP e FPA da PI são pouco significativas em relação àquelas relacionadas aos eventos geradores de improdutividade. Segundo Adrian (2004), discorrendo sobre canteiro de obras dos Estados Unidos, a improdutividade atingia 40%. Martins (2011) revela que, em obras de construção e montagem de refinarias no Brasil, esta improdutividade atinge 50%. Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que a improdutividade é bem supe-

rior às mencionadas nestes dois trabalhos, o que poderá ser melhor avaliado através da análise dos fatores que contribuíram para este resultado.

Tabela 4. Dados comparativos, dados da amostra e simulação – PG

Dados estatísticos	Amostra (Hh/cm ³)	Simulação (Hh/cm ³)
Média	0,4649	0,4675
Moda	0,3554	0,4161
Mediana	0,437	0,4527
Desvio padrão	0,191	0,1858
Coeficiente de variação	0,41	0,40

Fonte: Os próprios autores

A Figura 6 apresenta a análise de sensibilidade com a utilização do gráfico de tornado com base no desvio da média, através da qual se realizou a análise dos impactos de cada um dos eventos descritos neste trabalho na PG. Adicionalmente, a Tabela 5 apresenta os impactos mínimos e máximos de cada uma das variáveis consideradas no modelo de produtividade desenvolvido na média da PG. A análise da Figura 6 e da Tabela 5 revela que os impactos das atividades relacionadas à execução são bem inferiores àquelas relacionadas aos tempos improdutivos, situando-se dentro da faixa de variação da PG de 0,40, conforme coeficiente de dispersão apresentado na Tabela 4. Neste caso, para avaliação dos impactos das atividades que compõem o procedimento executivo da soldagem, com vistas ao desenvolvimento de ações para melhoria da produtividade, seria mais adequada a utilização da análise de sensibilidade da PI, discutida na seção anterior. Esta recomendação decorre do fato de que a magnitude dos tempos improdutivos em relação aos produtivos, neste caso, dificulta a detecção do impacto dos mesmos na PG.

No que diz respeito à improdutividade, ao se observar a Figura 6 e a Tabela 5, as variáveis que geram maior impacto na PG, por ordem de importância, são: canteiro + apoio; delay + paralisação e mobilização + deslocamento. Estas 3 variáveis têm impacto significativo, sobretudo, na redução da PG, atingindo valores de 77% para canteiro + apoio, 41% para delay + paralisação e 27% em mobilização + deslocamento.

A variável canteiro + apoio incorpora os tempos improdutivos relacionados aos seguintes eventos: pequenos reparos de solda, palestras de treinamento, diálogos de segurança, intemperismos, serviços extras, greves e paralisações decorrentes de ações sindicais, paradas para alimentação e descanso durante a jornada de trabalho, tempo de espera para liberação de frentes de trabalho, paralisações decorrentes da ação da fiscalização da contratante. Neste caso,



observa-se que a metodologia de apropriação dos tempos improdutivos incorpora eventos muito heterogêneos, o que pode explicar a dispersão observada nos dados da PG, tendo em vista ser esta a variável de maior impacto. Por outro lado, considera-se como tempo improdutivo a realização de serviços extras, o que é verdade do ponto de vista da soldagem, pois os tempos despendidos neste caso ocorrem com a paralisação desta atividade. Entretanto, do ponto de vista do empreendimento, estes tempos não devem ser considerados como geradores de improdutividade.

A improdutividade devido às paralisações decorrentes dos tempos relacionados à espera dos soldadores para o acoplamento das tubulações, montagem de andaimes, ausência de colaboradores, falha de planejamento, falta de equipamento ou material, falta de energia elétrica, necessidades fisiológicas, movimentação de cargas, realização de inspeções de controle da qualidade, paralisações não frequentes, proximidade do final da jornada de trabalho e tempos ociosos sem justificativa, são agrupadas na variável delay + paralisação. Tal como ocorre na variável canteiro + apoio, a metodologia utilizada na apropriação dos tempos improdutivos incorpora eventos muito heterogêneos, o que também influencia na dispersão observada nos dados obtidos na PG, pois esta é a segunda variável de maior impacto. Segundo Adrian (2004), o tempo improdutivo necessário para atendimento às necessidades humanas dos trabalhadores nos canteiros de obras americanos é cerca de 15 a 20% de uma jornada de trabalho de 8 horas diárias e 40 horas semanais. Neste sentido, caso este quadro se reproduza no canteiro de obras que é objeto de estudo deste trabalho, este evento estaria entre os maiores geradores de improdutividade, entre aqueles agrupados nesta variável. Assim, pela importância do impacto do mesmo na PG, o tempo despendido neste evento deveria ser tratado em separado.

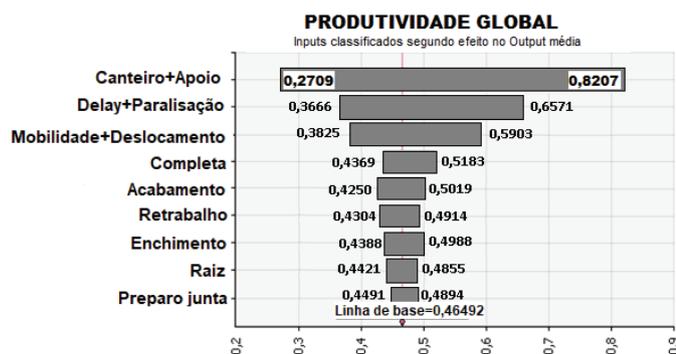


Figura 6. Fatores de impacto na PG

Fonte: Os próprios autores

A variável mobilidade + deslocamento representa os tempos despendidos devido às características de mobilidade na refinaria, que são as seguintes: deslocamento do portão principal ao canteiro de obras no início e no final do expe-

diente, movimentação do canteiro ao posto de trabalho no início e no final da jornada de trabalho, transporte para o almoço e na busca de materiais do almoxarifado para frente de serviço. Embora com impacto menos significativo em relação às variáveis canteiro + apoio e delay + paralisação, sua variação atinge 27% de redução da PG, que é um valor expressivo. Este comportamento é característico de obras nas quais é necessário que os trabalhadores percorram grandes distâncias durante a jornada de trabalho, fato que também é registrado em Tabim (2013).

Tabela 5. Impacto mínimo e máximo na média da PG

Atividade	Aumento (Hh/cm³)	Redução (Hh/cm³)	Aumento (%)	Redução (%)
Canteiro + apoio	0,2709	0,8207	42%	77%
Delay + paralisação	0,3666	0,6571	21%	41%
Mobilidade + deslocamento	0,3825	0,5903	18%	27%
Completa	0,4369	0,5183	6%	11%
Acabamento	0,4250	0,5019	9%	8%
Retrabalho	0,4304	0,4914	7%	6%
Enchimento	0,4388	0,4988	6%	7%
Raiz	0,4421	0,4855	5%	4%
Preparo/esmerilhamento	0,4491	0,4894	3%	5%

Fonte: Os próprios autores

A variável retrabalho representa a improdutividade relacionada ao tempo despendido na realização dos reparos das soldas que foram reprovadas na inspeção. Neste caso, o impacto desta variável na PG é bem menor, em comparação às outras geradoras de tempos improdutivos. Destaca-se que não foram verificados dados existentes na literatura consultada para fins de comparação com aos resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, é possível concluir que, pelo fato de os soldadores atuantes nestas obras serem certificados e submetidos a testes com base em normas internacionais, e, considerando ainda que os processos e procedimentos de soldagem utilizados são de amplo domínio, a quantidade dos tempos despendidos decorrentes das juntas soldadas reprovadas por inspeção não destrutiva, em comparação ao restante, tenderá a ser baixa.

A análise estatística de fatores que impactam a produtividade foi objeto de estudos de Choi e Ryu (2015), onde a análise acima corrobora resultados próximos. Há fatores que demonstram o que pode ser considerado como impacto no resultado final, entre os quais: os efeitos localização, gerenciamento, clima e materiais. Nesse estudo, o valor médio de produtividade, quando havia interferência meteorológica, foi o mais alto impacto; quando associado ao gerenciamento, foi o menor. Destaca-se que os fatores de impacto na produtividade consi-



derados na avaliação do banco de dados analisado neste artigo são semelhantes àqueles agrupados por Adrian (2004) em dois, entre os três grandes grupos mencionados anteriormente, que são: fatores relacionados à indústria, causas relacionadas à força de trabalho e fatores relacionados ao gerenciamento, o que se observa também na grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura sobre fatores de impacto na produtividade da indústria da construção. Entretanto, a influência dos aspectos relacionados à força de trabalho na produtividade é, geralmente, estudada em trabalhos nos quais somente esta variável é observada. Neste artigo, a organização do banco de dados não se deteve nestes aspectos. Vale ressaltar que, embora, os resultados das possibilidades das variações das variáveis do modelo de produtividade global utilizado neste trabalho através do gráfico de tornado demonstrem as potencialidades da utilização desta ferramenta para detecção daquelas de maior impacto, o agrupamento de muitos eventos e atividades dissimilares em uma única variável a torna menos efetiva. Neste sentido, em outros trabalhos, recomenda-se a utilização de variáveis que englobem eventos e atividades mais homogêneas, o que tornará os resultados obtidos pela análise de sensibilidade via gráfico de tornado mais efetivo. Cabe ainda destacar que os fatores de impacto na produtividade relacionados neste artigo são semelhantes àqueles mencionados por Hasan *et al.* (2018). Entretanto, para fins de comparação, a quantificação destes impactos não é disponibilizada neste e demais textos encontrados na literatura.

5. CONCLUSÃO

Os dados obtidos neste trabalho permitem concluir que o método de Monte Carlo é adequado para a avaliação do comportamento das produtividades global e intrínseca, assim como em Tabim (2013) e Martins (2011).

No desenvolvimento das simulações desenvolvidas neste artigo, tanto para a PI quanto para a PG, concluiu-se que o agrupamento dos tempos contabilizados em atividades e/ou eventos muito heterogêneos não é aconselhável, pois poderá dificultar a análise dos resultados em função da dispersão produzida. Neste sentido, no desenvolvimento de modelos de produtividade, deve-se adotar o procedimento de agrupar e contabilizar os tempos produtivos e improdutivos de eventos e atividades que tenham a maior semelhança possível, com o objetivo de reduzir a dispersão dos dados gerados por simulação.

A utilização da análise de sensibilidade, através do gráfico de tornado, permite detectar a magnitude do impacto das atividades que compõem o procedimento executivo da soldagem na produtividade intrínseca, o que possibilita o desenvolvimento de ações para sua melhoria.

No que diz respeito à PG, além do impacto das atividades relacionadas ao procedimento de soldagem, a utilização da

análise de sensibilidade via gráfico de tornado viabiliza a visualização dos eventos geradores de tempos improdutivos. Assim, é possível a implementação de um conjunto de ações com o objetivo de redução da improdutividade gerada por estes eventos.

Para a melhoria na produtividade, Loosemore (2014) descreve que são necessárias melhorias na sistemática de gestão, como o relacionamento dos gestores, aplicação de boas práticas de engenharia, projetos modernos com controle de documentação, gerenciamento de contrato com supervisão técnica, utilização de planejamento e inovação.

REFERÊNCIAS

- Adrian, J. J. (2004), *Construction Productivity Measurement and Improvement*, Bradley University, Stipes Publishing L.L.C., Estados Unidos.
- Afonso Neto, A. et al. (2018), “Análise da adoção de práticas LEAN em empresas brasileiras: Um estudo exploratório”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 13, No. 3, pp. 196-208.
- Araujo, L. O. C. et al. (2011). “Craft Productivity at Petrobras”, artigo apresentado no *Construction Industry Institute: Annual Conference Proceedings*, Chicago, Estados Unidos, 25-27 de Jul. 2011.
- AWS - American Welding Society (2002), *Welding – Related Expenditures and Productivity Measurement in U.S. Manufacturing, Construction, and Mining Industries*. 2002.
- Bass, D.; Hoover, S. (2015), “Getting the Basics of Construction Productivity Right”, *Pipeline & Gas Journal*, Vol. 242, No. 11, pp. 63-67.
- Bierman, M. et al. (2016), “Productivity management in the South Africa civil construction industry-factors affecting construction productivity”, *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, Vol. 58, No. 3, pp. 37–44.
- Cho, K. et al. (2017), “Effects of Half-Precast Concrete Slab System on Construction Productivity”, *Sustainability*, Vol. 9, No. 7.
- Choi, J.; Ryu H. (2015), “Statistical Analysis of Construction Productivity for Highway Pavement Operations”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 19, No. 5, pp. 1193-1202.
- Dixit, S. et al. (2018), “Evolution of studies in construction productivity: A systematic literature review (2006–2017)”, *Ain Shams Engineering Journal*, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.10.010> (acesso em 10 maio 2019).
- Durdyev, S.; Ismail, S. (2014), “On-site construction productivity in Malaysian infrastructure projects”, *Structural Survey*, Vol. 34, No. 4/5, pp. 446-462.
- Ferreira, M. L. R. (2009), *Relatório do Projeto de Pesquisa “Mapeamento do Estado da Arte da Tecnologia de Construção e Montagem. PROMINP (Programa de Mobilização Nacional da Indústria do Petróleo e Gás Natural)*, Brasil.



- Ferreira, M. L. R. et al. (2010), Relatório do Projeto de Pesquisa “Métricas de Desempenho da Indústria”. PROMINP (Programa de Mobilização Nacional da Indústria do Petróleo e Gás Natural), Brasil.
- Gioia, A. L. S. (2015), Fatores de impacto na produtividade em soldagem de tubulação, Dissertação de Mestrado em Montagem Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Gioia, A. L. S.; Silva Jr., I. F. (2007), Avaliação de Metodologia para Medição da Produtividade na Atividade de Montagem de Tubulação em Obras Industriais. Monografia Especialização em Montagem Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Goodrum, P. M. et al. (2011) “Model to Predict the Impact of a Technology on Construction Productivity”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 137, No. 9, pp. 678-688.
- Hasan, A. et al. (2018) “Factor affecting construction productivity: a 30 year systematic review”, *Engineering Construction and Architectural Management*. Vol. 25, No. 7, pp. 916-937.
- Jovanovic, P. (1999), “Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk”, *International Journal of Project Management*, Vol. 17, No. 4, pp 217-22.
- Liu, J. et al. (2014), “Validation Methodologies and Their Impact in Construction Productivity Research”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 140, No. 10, pp 04014046.
- Loosemore, M. (2014), “Improving construction productivity: a subcontractor’s perspective”, *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 21 No. 3, pp. 245-260.
- Lucariny, L. H. (2013). Gestão de empreendimentos: Fatores que influenciam a gestão de prazos na construção pesada, Monografia em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Macêdo, D. G. et al. (2018), “Determinação do preço assistencial em planos de saúde utilizando simulação”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 13, No. 1, pp. 81-87.
- Martins, J. L. F. (2011), Aplicação de Simulação com os Métodos de Monte Carlo e Hipercubo Latino na Estimativa da Produtividade no processo de Soldagem por Eletrodo Revestido, Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Morano, C. A. R. (2003), “Aplicação das Técnicas de Análise de Risco em Projetos de Construção”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Moselhi, O.; Khan, Z. (2012), “Significance ranking of parameters impacting construction labor productivity”, *Construction Innovation*, Vol. 12, No. 3, pp. 272-296.
- Ney, D. C. (2016), Avaliação da metodologia eletrônica para monitoramento do desempenho de soldadores na fabricação de tubulações, Dissertação de Mestrado em Montagem Industrial, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Olugboye, O. (2015), “Eliminating Enforced Idleness of Resources and Job Waiting Time in Time-Constrained Construction Activities Using Waiting Line Theory”, *Journal of Construction Project Management and Innovation*, Vol. 5, No. 2, pp. 1196-1210.
- PMI – Project Management Institute (2009), “Um Guia do Conhecimento do Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)”, Project Management Institute, 4 Ed., Estados Unidos.
- Pradhan, A.; Akinci, B. (2012), “Planning-Based Approach for Fusing Data from Multiple Sources for Construction Productivity Monitoring”, *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 26, No. 4, pp. 530-540.
- Sabóia, J.; Carvalho, P. G. M. (1997), “Produtividade na Indústria Brasileira – Questões Metodológicas e Análise Empírica”, artigo apresentado para discussões no IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, DF, Agosto de 1997.
- Shehata, M. E.; El-Gohary, K. M. (2012), “Towards improving construction labor productivity and project’s performance”, *Alexandria Engineering Journal*, No. 50, pp. 321–330.
- Sousa, B. C. S. et al. (2018), “Priorização de projetos de melhoria de produtividade do método multicritério PROMÉTHÉE II”, *Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento*, Vol. 10, No. 1, pp. 27-40.
- Tabim, P. M. (2013), Estimativa de produtividade na soldagem de dutos terrestres com aplicação de simulação de Monte Carlo, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.
- Woo, S. (2016), “Simulation Analysis of Labor Performance during Overtime and Impact on Project Duration”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 20, No. 7, pp. 2614-2623.

Recebido: 05 out.2018

Aprovado: 15 maio 2019

DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1460

Como citar: Gioia, A. L. S.; Ferreira, M. L. R. (2019), “Avaliação dos fatores de impacto na produtividade da soldagem de tubulações industriais com o método de Monte Carlo”, *Sistemas & Gestão*, Vol. 14, No. 2, pp. 142-153, disponível em: <http://www.revistasg.uff.br/index.php/sg/article/view/1460> (acesso dia mês abreviado. ano).