2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ALGORITMOS GENÉTICOS: UMA ABORDAGEM VISUAL PARA REDUZIR AS PERDAS POR TRANSPORTE EM CANTEIROS DE OBRA[1]

PÉREZ, Cristina T. (1); COSTA, Dayana B. (2); IRIZARRY, Javier (3)

(1) Universidade Federal da Bahia, cristina.toca.perez@grmail.com
(2) Universidade Federal da Bahia, dayanabcosta@ufba.br
(3) Georgia Institute of Technology, javier.irizarry@gatech.edu

RESUMO

Esta pesquisa propõe a aplicação do princípio da filosofia da construção enxuta de minimizar ou eliminar todas as atividades que não agregam valor a partir da redução das atividades de transporte. Para tal, este trabalho avalia num estudo empírico a utilidade da técnica de optimização com base em Algoritmos Genéticos (AG) para reduzir distâncias de transporte e consequentemente minimizar as perdas por transporte nos processos construtivos. A metodologia divide-se em quatro fases: (1) planejamento; (2) modelagem; (3) simulação; e (4) análise. Na primeira fase, foi escolhido o processo construtivo a ser estudado durante a coleta de dados no canteiro de obras de um prédio acadêmico. Na fase de modelagem, imagens do canteiro coletadas com Veículo Aéreos Não Tripulado (VANT) foram usadas para a criação de um modelo 3D do edifício e de um ortomosaico do canteiro com o Pix4D Mapper. Estes modelos permitiram o levantamento de distâncias e outras medidas utilizadas na modelagem do layout do canteiro. Na terceira fase, três diferentes cenários foram simulados utilizado o Grasshopper ™ integrado ao Rhino para otimizar as distâncias de transporte. Por meio das simulações, tornou-se possível dar suporte à tomada de decisão com vistas aos princípios da construção enxuta.

Palavras-chave: *Perdas por transporte, construção enxuta, Algoritmos Genéticos (AG), Veículo Aéreos Não Tripulado (VANT).*

ABSTRACT

This research proposes the application of the principle of lean construction philosophy to minimize or eliminate all activities that do not add value by reducing transportation activities and its waste. For this, this work evaluates throught a empirical study the utility of the otimization technique based on Genetic Algorithms (AG) to optimize transport distances and consequently reduce transport waste in construction processes. The methodology is divided into four phases: (1) planning; (2) modeling; (3) simulation; and (4) analysis. This study is based on data collected from an academic research building project during the first phase. In the modeling phase, the authors used images collected with an Unmanned Aerial System (UAS)for the development of a 3D model of the building and an orthomatic of the construction site with the Pix4D Mapper. These models allowed distances measurements necessary for the jobsite layout modeling. In the simulation phase, Grasshopper ™ integrated with Rhino was used for simuling three different scenarios aiming to optimize transport distances. Through the

[1] PÉREZ, Cristina T.; COSTA, Dayana B.; IRIZARRY, J. Algoritmos genéticos: uma abordagem visual para reduzir as perdas por transporte em canteiros de obra. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

simulations developed, it was possible to support decision making within lean construction principles.

***Keywords**: Transportation waste, Lean Construction, Genetic Algorithms (AG), Unmanned Aerial System (UAS).*

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de um planejamento logístico envolve a redução dos desperdícios. Os transportes excessivos estão intrinsecamente relacionados à escolha de um *layout* de canteiro de obras deficiente, uma vez que instalações bem projetadas resultam em um manuseio de materiais mais eficiente, reduzidos tempos de transportes e menores tempos de ciclo de produção (BORTOLINI; SHIGAKI; FORMOSO, 2016). O projeto de *layout* de canteiros deve levar em consideração os percursos de transporte por ser considerados como um tipo de espaço de trabalho (WANG *et* al., 2004). Embora o transporte seja considerado uma atividade que não agrega valor, toda a eliminação destas atividades não é possível já que elas são necessárias para o desenvolvimento de um fluxo de construção contínuo (PÉREZ; COSTA, 2018).

Este artigo tem como objetivo o planejamento dos percursos de transporte, os quais desempenham um papel importante no âmbito do gerenciamento das áreas de trabalho no canteiro. Nesse contexto, os conceitos e princípios da filosofia *Lean Construction*, ou construção enxuta em português, fornecem uma abordagem distinta para o gerenciamento do canteiro. Assim, esta pesquisa propõe a aplicação do princípio Lean de minimizar ou eliminar todas as atividades que não agregam valor a partir da redução das atividades de transporte e as perdas associadas a estas.

Para tal, este trabalho avalia a utilidade de técnica de otimização com base em Algoritmos Genéticos (AG) para planejar distâncias de transporte e consequentemente reduzir as perdas por transporte. Embora exista uma grande quantidade de literatura sugerindo os potenciais benefícios fornecidos pelo uso de AG para o planejamento do espaço de trabalho, existem poucos estudos focados em aplicações práticas desde o ponto de vista da construção enxuta. Prévios estudos focaram seus esforços em otimizar as atividades de transporte visando reduzir a frequência, o custo e a distância de viagem, entre outras abordagens. Esses estúdios parecem analisar de maneira semelhante todas os tipos de atividades de transporte. No entanto, este trabalho foca na otimização daquelas atividades de transporte consideradas como evitáveis e desnecessários por ser consideradas em si mesmas uma perda de transporte e por ser também a sua vez as que mais perdas geram.

2 PERDAS POR TRANSPORTE E SUA IMPORTANCIA PARA O PLANEJAMENTO DO LAYOUT DE CANTEIRO DE OBRAS

Uma atividade de transporte, do ponto de vista da indústria da construção, consiste no movimento do material por um ator (trabalhador ou equipamento) de um ponto de partida para um ponto de destino diferente ao longo de um percurso, consumindo tempo e recursos (KOUTAMANIS *et al*., 2001). Formoso *et al.* (1996) entendem o transporte na construção como uma atividade absolutamente necessária. Não entanto, na definição de perdas destes autores enfatizam que algumas atividades de transporte podem ser consideradas como perdas. Estas perdas estariam associadas ao uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra e capital em quantidades superiores às necessárias para a produção de uma edificação.

Visando desenvolver uma definição útil do conceito de perdas por transporte, os

presentes autores propuseram uma taxonomia de perdas por transporte nos processos de produção da construção (PÉREZ; COSTA, 2018) através do entendimento das causas e consequências das perdas de transporte. No presente trabalho, a definição proposta nesse estudo é adotada. A perda por transporte é um fenômeno inesperado que ocorre na atividade de transporte. Refere-se a um evento observável e registrável em um determinado local e em um determinado momento que afeta os fluxos físicos, causando a execução de tarefas não planejadas e produzindo ineficiências e interrupções nos processos de produção.

Diferentes métodos e modelos matemáticos têm sido utilizados na otimização das áreas de trabalho dos canteiros de obras. Entre esses modelos, destacam-se os estudos que utilizaram técnicas de programação linear e heurística como método de otimização, um exemplo desta técnica é o Algoritmo Genético (AG) (ZOUEN; TOMMELEIN, 1999). O AG permite otimizar (maximizar ou minimizar) uma função linear de variáveis, chamada função objetivo. Para o gerenciamento da área de trabalho, a programação linear envolve a identificação de uma ou mais metas que o *layout* do local de trabalho se esforça para alcançar na modelagem (ZOUEN; TOMMELEIN, 1999).

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho utiliza a técnica de simulação computacional que opera a partir da concepção de modelos abstraídos dos seus sistemas de origem e busca analisar os resultados para avaliar entre um conjunto de alternativas predefinidas (LAW; KELTON, 1991). A metodologia utilizada neste trabalho contém quatro grandes fases: (1) planejamento; (2) modelagem; (3) simulação; e (4) análise.

3.1. Fase de planejamento

Durante esta fase os autores definiram **o pressuposto da pesquisa** sendo este: **"**O uso de GA pode contribuir para gerenciar as atividades de transporte no nível operacional, proporcionando um ambiente virtual para a compreensão das operações de produção, permitindo a minimização das perdas por transporte nos canteiros de obras".

Nesta fase foi também realizada a **coleta de macro informações e dados**. Esta atividade de cunho empírico consta da agregação de fatos, informações e dados derivados de observações. Foram coletadas informações em um único um projeto de construção localizado em um campus universitário em Atlanta - Georgia, EUA. O escopo do projeto de construção inclui a construção de um prédio acadêmico e de pesquisa. O canteiro ocupa um espaço confinado de 6.000 m², por estar em uma área construída entre outros edifícios. Os autores escolheram esse projeto devido ao importante papel desempenhado pela logística interna para evitar obstruções nas ruas que cercavam o canteiro e garantir a eficiência da produção da construção.

Os autores realizaram 15 visitas ao canteiro para identificar e entender as características dos principais processos de construção. Imagens, vídeos e anotações de campo foram utilizados como fontes de evidência. O processo crítico escolhido para o estudo foi a instalação dos painéis de isolamento na cobertura. Baseia-se na prevalência de ser o processo com maior número de atividades de transporte. Além disso, esse processo é realizado em uma área muito congestionada e de difícil acesso.

Os transportes identificados foram classificados de acordo com a classificação das atividades de transporte (necessária, evitável e desnecessária) proposta pelos autores em trabalhos anteriores (PÉREZ; COSTA, 2018). A classificação dos eventos de perdas por transporte adotada foi de acordo com suas causas (acesso/mobilidade, armazenamento, equipamento, equipe, embalagem e informações) e suas consequências (danos ao material, condições inseguras de trabalho, novo transporte, distância maior e problema ergonômico), com base na taxonomia proposta por Pérez e Costa (2018).

Por último, foram escolhidos os **recursos tecnológicos** que seriam utilizados. Devido ao processo estudado ocorrer no nível da cobertura, os autores usaram fotografias realizadas com um Veículo Aéreos Não Tripulado (VANT) e pela câmera da empresa instalada no canteiro. As imagens áreas foram coletadas utilizando quadricóptero, DJI Phantom 4 Advanced e foram processadas pelo software *Pix4D Mapper* por ser tratar de um recurso que permite o levantamento de distâncias e outras medidas uteis na análise do layout do canteiro. O Grasshopper™ integrado ao Rhino foi o software escolhido para a simulação por ser a plataforma de simulação mais adequada para o desenvolvimento de algoritmos com mecanismos visuais, pois pode ser facilmente modificada e não requerer determinação do espaço de busca de problemas.

3.2. Fase de modelagem

Nesta fase foram desenvolvidos dois modelos: (1) edifício e canteiro; e (2) layout dos elementos envolvidos no processo estudado. Os autores usaram as imagens coletadas com o VANT para a criação de um modelo 3D do edifício e para a criação de um ortomosaico do canteiro com o uso do software Pix4D. O modelo 3D e o ortomosaico possibilitaram a medição de distâncias de transporte e áreas de armazenamento dos materiais. Para a modelagem dos elementos envolvidos no processo estudado no Rhino, todos os objetos foram modelados usando formas estáticas e usando uma série de linhas retas conectadas (*comando poli-linha*) formando polígonos irregulares; o que é uma boa abstração e não gera ineficiências significativas.

3.3. Fase de simulação

Três diferentes cenários foram simulados no Grasshoper e comparados com a situação real, considerando um, dois ou três estoques principais, para cada cenário respetivamente, no nível da cobertura. Não foram considerados mais de três estoques devido à área limitada do estudo. Foi determinado como variável constante a soma total de todas as áreas dos estoques em cada cenário, sendo esta a área identificada na situação real devido a necessidade de representar a quantidade material real armazenado no momento da coleta de dados.

A função objetivo (Equação 1) do estudo consiste em minimizar o somatório de todas as distâncias de transporte entre o(s) estoque(s) e o destino final para cada uns dos cenários possíveis.

$$Função\ Objetivo = minimizar \sum_{i=1}^{n} d_i + d_{i+1} + \ldots + d_n \quad (1)$$

Onde,

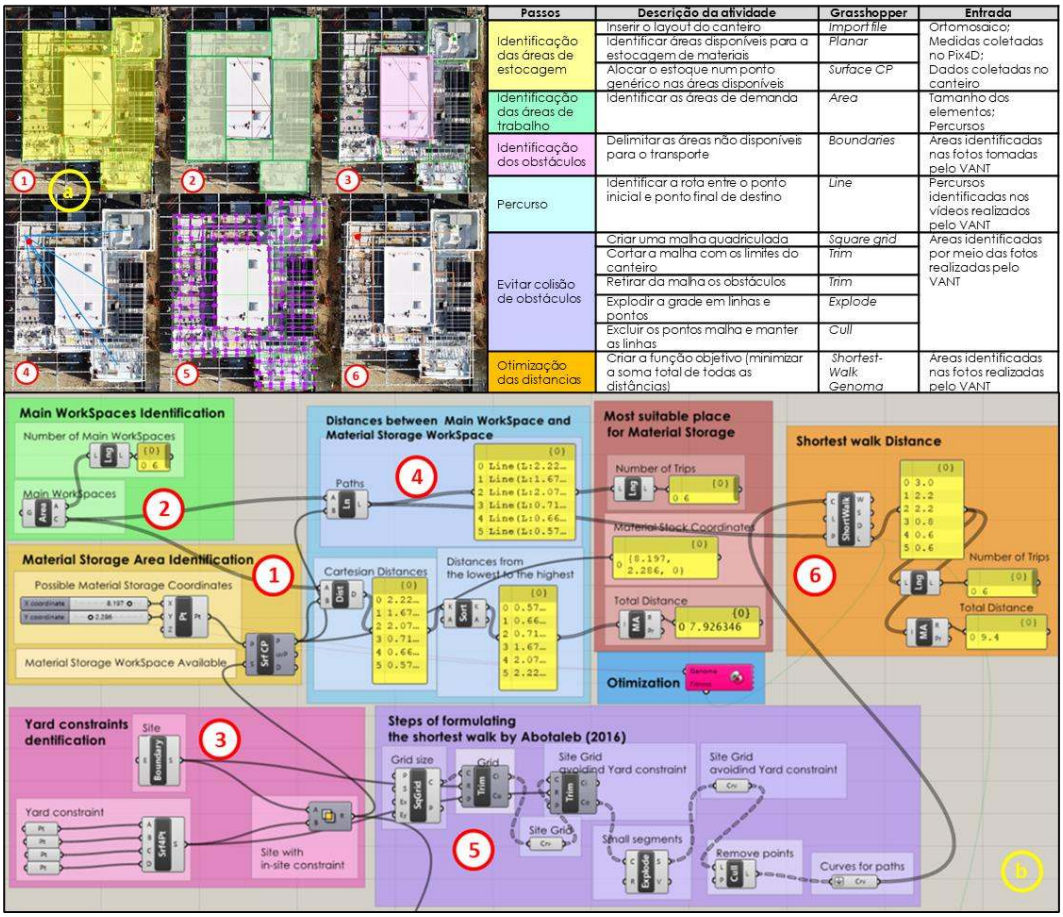
n *Número de distâncias*

d_i *Distância mínima entre o estoque e o destino final medida com a técnica ShortestWalk*

A técnica utilizada para medir a distância de transporte foi a proposta por Abotaleb *et* al. (2016). Está técnica nomeada como "ShortestWalk" (caminho mais curto em

português) mede a distância mínima entre dois pontos, que segue um determinado percurso que não colide com obstáculos (Etapa 5 na Figura 1).

Figura 1 – Exemplo dos principais passos realizados para otimizar as atividades de transporte: (a)Interface no Rhino; e (b)Interface no Grasshopper



Fonte: Os autores

3.4. Fase da análise dos resultados

A última fase, tem como objetivo avaliar a utilidade da simulação no estudo empírico e sua capacidade de atingir seu objetivo. Neste trabalho a análise dos resultados visa avaliar a utilidade da simulação de GA para a redução das perdas por transporte, para isso foram avaliados os seguintes indicadores: (a) número de estoques; (b) área de estoque; (c) distância de transporte; e (d) número de viagens.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

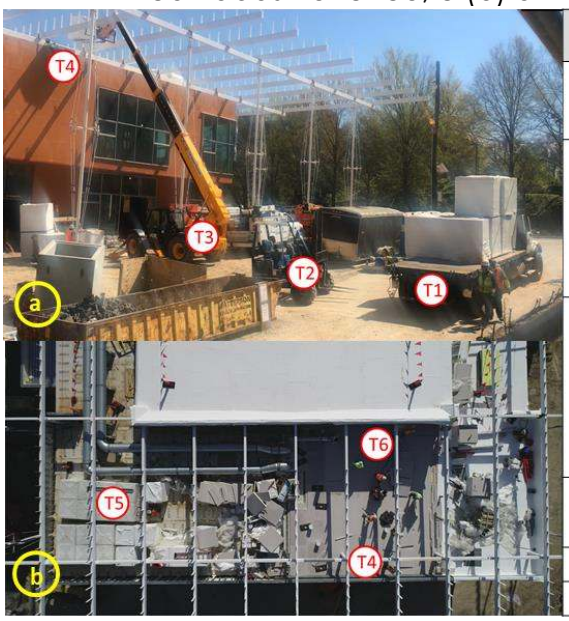
4.1. Atividades de transporte e perdas por transporte identificados no estudo

Neste estudo considerou-se Estoque Principal (EP) o estoque no qual os paneis ficam agrupados com a embalagem e desde esse local são distribuídos até Estoques Secundários (ES). Entende-se por ES o estoque intermediário entre o EP e o local de aplicação. Considerou-se Estoque Temporário (ET) ao material que foi estocado temporariamente em um determinado local enquanto a entrega do material acontecia e posteriormente foi transportado até outro estoque (EP ou ET).

As principais perdas de transporte encontradas no estudo são consequência da falta de planejamento dos estoques na cobertura. Tais estoques eram improvisados pelos trabalhadores após a chegada do material transportado pelo manipulador

telescópico. A causa deste tipo de perda é classificada como "falta de informação" no trabalho de Pérez e Costa (2018). Este evento de perda gerou como consequência a criação de novos transportes (Atividade T6 na Figura 2b) devido à necessidade de mover o material dos estoques permanentes a os estoques secundários não planejados, e consequentemente gerando a realização de uma distância maior.

Figura 2 - Principais atividades de transporte do processo estudado: (a) atividades realizadas no térreo; e (b) atividades realizadas na cobertura



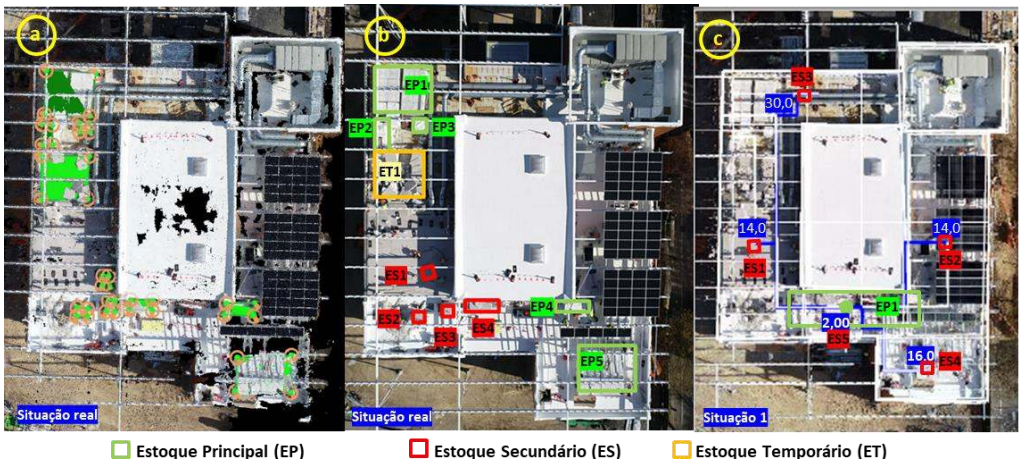
Tipo de atividade de transporte	Caraterização do tipo de atividade de Transporte		
	Local inicial	Local final	Atores/Recursos
T1 - Necessária	Entrada do canteiro	Área de descarregamento	Caminhão truck Motorista do caminhão 1 trabalhador
T2 - Evitável	Área de descarregamento no térreo	Estoque Temporário próximo ao prédio	Caminhão truck Motorista do caminhão Carregadeira Motorista da carregadeira 1 trabalhador no térreo
T3 - Necessária	Estoque temporário próximo ao prédio	Estoque temporário improvisado na cobertura	Manipulador telescópico Motorista do manipulador 2 trabalhadores no térreo 2 trabalhadores na cobertura
T4 – Necessária	Estoque temporário improvisado na cobertura	Estoque Principal	2 trabalhadores na cobertura
T5 - Necessária	Estoque Principal	Estoque Secundário	1 trabalhador na cobertura
T6 - Evitável	Estoque Secundário	Local de instalação	1 trabalhador na cobertura

Fonte: Os autores

4.1. Redução das perdas por transporte

Durante a coleta de dados foram identificados na cobertura 5 EP, 4 ES e 1 ET (Tabela 1 e Figura 3). Nas simulações o estoque temporário na cobertura manteve-se fixo no local identificado, pois este é consequência da Atividade T4 (Figura 3) que é absolutamente necessária. Assim, variando o número de estoques principais e secundários e considerando-se a área de estoque como recurso fixo (100 m^2 medido na ortomosaico no Pix4D) foi possível estabelecer diversos cenários (Tabela 1).

Figura 3 – Diferentes cenários simulados: (a) Situação real na Interface do Pix4D; (b) Situação real na Interface do Rhino; e (c) Situação 1 na interface do Rhino



Fonte: Os autores

Tabela 1 – Resumo dos resultados obtidos nos diferentes cenários

Cenário	**Situação real**	**Situação 1**	**Situação 2**	**Situação 3**
Núm. de EP	5	1	2	3
Núm. de ES	4	5	5	6
Núm. De ET	1	1	1	1
Área dos Estoques Principais (EP)	(EP1) 27,1m^2 (EP2) 02,8m^2 (EP3) 01,2m^2 (EP4) 05,0m^2 (EP5) 28,6m^2	(EP1) 92,6m^2	(EP1) 48,4m^2 (EP2) 48,4m^2	(EP1) 32,6m^2 (EP2) 32,6m^2 (EP3) 32,6m^2
Cálculo da distância entre ET e EP*	(ETEP1) 27x8x2 (ETEP2) 3x5x2 (ETEP3) 2x5x2 (ETEP4) 5x35x2 (ETEP5) 29x45x2	(ETEP1)20x100x2	(ETEP1)10mx50x2 (ETEP2)30mx50x2	(ETEP1)12x33x2 (ETEP2) 9x33x2 (ETEP3) 30x33x2
Distância total entre ET e EP	3.442m	4.000m	4.000m	3.366m
Distância entre EP e ES	($EPES_1$1) 28m ($EPES_1$2) 30m ($EPES_1$3) 34m ($EPES_1$4) 3m	($EPES_1$1) 14m ($EPES_1$2)14m ($EPES_1$3) 30m ($EPES_1$4) 16m ($EPES_1$5) 2m	($EPES_1$1) 6m ($EPES_1$2) 8m ($EPES_1$3) 6m ($EPES_2$1) 12m ($EPES_2$2) 8m	($EPES_1$1)2m ($EPES_1$2)10m ($EPES_2$1) 8m ($EPES_2$2) 6m ($EPES_3$1)10m ($EPES_3$2) 4m
Cálculo da distância total** para cada área de demanda entre EP e ES	($ES_1$1) 28x5x2 ($ES_1$2) 30x5x2 ($ES_1$3) 34x5x2 ($ES_1$4) 3x5x2	($ES_1$1) 14x26x2 ($ES_1$2) 14x21,5x2 ($ES_1$3) 30x12x2 ($ES_1$4) 16x7,5x2 ($ES_1$5) 2x2x2	($ES_1$1) 6x8x2 ($ES_1$2) 8x21,5x2 ($ES_1$3) 6x7,5x2 ($ES_2$1) 12X12x2 ($ES_2$2) 8x26x2	($ES_1$1) 2x13x2 ($ES_1$2)10x8x2 ($ES_2$1) 8x21,5x2 ($ES_2$2) 6x7,5x2 ($ES_3$1)10x12x2 ($ES_3$2) 4x13x2
DT entre EP e ES	4.890m	2.290m	1.234m	690m
DT	8.333m	6.290m	5.234m	4.356m

*DT(ETEP)= Distância Total entre (ETEP) x número de viagens x 2 (ida e volta)
**DT(EPES)= Distância Total entre (EPES) x número de viagens x 2 (ida e volta)

Fonte: Os autores

Observa-se na Tabela 1 que quando comparada a distância total entre o Estoque Temporário (ET) e os Estoques Principais (EP) na Situação real (3.442m) com as distâncias nos cenários simulados 4.000m para a Situação 1; 4.000m para a Situação 2; e 3.366m para Situação 3 não parece se identificar nenhuma tendência a diminuir a distância a medida que o número de estoques principais aumenta (de 1 até 3 respetivamente para cada cenário). Não entanto, analisando as distâncias para a distribuição dos materiais desde os Estoques Primários (EP) e os Estoques Secundários (ES), percebe-se uma clara diminuição da distância nos cenários criados 2.290m para a Situação 1; 1.234m para a Situação 2; e 690m para Situação 3 comparada com a Situação real encontrada durante as visitas (4.890m). Desta forma, pode se concluir que à medida que aumenta o número de estoques secundários a distância de distribuição diminui. Porém, é importante identificar o número de estoque secundários ótimo, pois muitos estoques poderiam gerar uma cobertura com muitos obstáculos e dificultar na movimentação dos paneis.

Desta forma, percebe-se a importância do planejamento da localização dos estoques e os percursos de transporte permitindo reduzir perdas de transporte criadas pela falta de informação do local de estocagem. A redução deste tipo de perda permitiria reduzir a criação de novos percursos e a realização de percursos maiores.

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa contribui no campo do gerenciamento do espaço de trabalho

e da filosofia de construção enxuta, através da realização de um estudo empírico para a avaliação da utilidade do Algoritmos Genéticos (AG) para reduzir as perdas por transporte nos processos construtivos.

Este trabalho apresenta uma abordagem mais realista no tópico de AG para o gerenciamento da área de trabalho devido ao uso de imagens realizadas com VANT como base para a modelagem do local de trabalho. A maioria dos estudos anteriores utilizam modelos CAD 2D para a otimização das distâncias os que, em muitos casos, não representam a situação real dos canteiros. No tópico de AG, estudos prévios focaram seus esforços em otimizar as atividades de transporte de uma maneira geral. Neste trabalho foram otimizadas aquelas atividades consideradas como evitáveis e desnecessários por ser consideradas em si mesmas uma perda de transporte e por ser as que mais perdas de transporte geram. A simulação apresentou como principal ponto positivo o estabelecimento de diversos cenários dando suporte à tomada de decisão com vistas aos princípios da construção enxuta e à otimização das distâncias. Além disso, o AG desenvolvido pode ser aplicado em outros processos construtivos e em outros canteiros após os devidos ajustes.

A simulação trata-se de um modelo determinístico no qual as incertezas, como a presença de outros obstáculos não identificados durante as visitas, não foram consideradas. Na determinação dos estoques no layout da cobertura não foram considerados outros processos que poderiam estar acontecendo simultaneamente, limitando-se a representar a melhor situação apenas para o processo estudado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio da CAPES com o auxílio da bolsa PROCAD 071/2013-CAPES (Número 2954/2014) e com a bolsa de doutorado, modalidade Doutorado Sanduíche no Exterior de um dos autores (88881.188464/2018-01).

REFERÊNCIAS

ABOTALEB, I.; NASSAR, K.; HOSNY, O. Layout optimization of construction site facilities with dynamic freeform geometric representations. **Automation in Construction**. 66. 2016. p. 15-28.

BORTOLINI, R.; SHIGAKI, J. S. I.; FORMOSO, C. T. Site logistics planning and control using 4d modeling: a study in a lean car factory building site. **Anais...** 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, 28-31 July 2015, p. 361-370.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. McGraw-Hill Books, NY, Second Edition, 1991.

FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; LAYELME, E. M.; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor**. Porto Alegre, UFGRGS, 1996.

KOUTAMANIS, A.; VAN LEUSEN, M.; MITOSSI, V. **Route analysis in complex buildings Computer aided architectural design futures**. Springer p. 711-724, 2001.

PÉREZ, C. T.; COSTA D. B. Developing a taxonomy of transportation waste in construction production processes. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 8, p. 434-448, 2018.

WANG, W.; WENG, S-W.; WANG, S-H.; CHEN C-Y. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, 37, 2014, p. 68-80.

ZOUEIN, P.P.; TOMMELEIN, I. D. Dynamic layout planning using a hybrid incremental solution method. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 6, 1999.