Brazilian Journal of Development

Máquinas e equipamentos de Terraplenagem: demonstração do cálculo de rendimento

The earthmoving machinery and equipment: main features and applications

DOI:10.34117/bjdv6n3-065

Recebimento dos originais: 29/02/2020
Aceitação para publicação: 05/03/2020

Raphaela Bemmuyal de Andrade da Silva
Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará
Universidade Federal do Pará – UFPA
Endereço:R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, Brasil
E-mail:engbemmuyal@outlook.com

RESUMO

Os serviços de terraplenagem em uma obra é parte fundamental no sucesso de um empreendimento. Para garantir uma eficiente obra de terraplenagem é necessário, além do acompanhamento de um profissional qualificado, a boa escolha de equipamentos e máquinas para cada etapa específica, bem como o cálculo de rendimento para melhor dimensionamento da patrulha da obra, para assim se alcançar a produtividade esperada. Este estudo tem como objetivo analisar as funções e aplicações das máquinas e equipamentos de terraplenagem, bem como demonstrar o cálculo de rendimento das máquinas operatrizes para auxiliar no dimensionamento de patrulha e determinação dos custos de uma obra de movimentação de terra. No cenário atual, a busca por máquinas e equipamentos cada vez mais eficientes, com custo-benefício elevado e que tenham menor impacto ao meio ambiente tem crescido velozmente. Com isso, novas tecnologias surgem a todo o momento, remodelando máquinas e equipamentos já existentes, inserindo modelos computacionais que permitem o controle em tempo real, grandes investimentos na redução do consumo de combustíveis e na emissão de gases poluentes, gerando cada vez mais aumento na produtividade na realização dos serviços. O estudo do presente artigo tem como finalidade auxiliar no conhecimento das máquinas e equipamentos de maior uso em obras de terraplenagem, elencando suas aplicações e funções básicas e cálculo de rendimento de máquinas operatrizes.

Palavras chave: Terraplenagem, Máquinas, Equipamentos, Rendimento.

ABSTRACT

The earthmoving service in a work is an essential part in the success of a venture. To ensure an efficient work of excavation is necessary, in addition to the accompaniment of a qualified professional, a good choice of equipment and machines for each specific stage, as well as the yield calculation for better scalability of patrol work, so as to achieve the expected

Brazilian Journal of Development

productivity. This study aims to analyze the functions and applications of earthmoving machines and equipment, as well as demonstrate the yield calculation of machines to assist in sizing of patrol and determination of costs of a work of earth movement. In the current scenario, the search for machinery and equipment each time more efficient, cost-effective high and that have less impact on the environment has grown rapidly. With this, new technologies emerge all the time, remodeling existing machinery and equipment, inserting computational models that allow the control in real-time, large investments in reducing fuel consumption and the emission of gaseous pollutants, generating increasingly increase in productivity in the performance of the services. The study of this article is intended to assist in knowledge of machinery and equipment for use in earthworks, listing their applications and basic functions and yield calculation of machines.

Key-words: Earthwork, Machines, Equipment's, Yield.

1 INTRODUÇÃO

A cada ano surgem novas tecnologias que alavancam a produtividade dos serviços em geral. Neste panorama, o aprimoramento e surgimento de máquinas e equipamentos destinados a terraplenagem faz com que os serviços sejam executados em um menor espaço de tempo com eficiência permitindo grandes movimentações de terra em obras de construção civil.

As máquinas de terraplenagem são fundamentais nas obras de construção civil, pois possibilitam a conformação do relevo terrestre mediante o corte e aterro (SANHUEZA & DIEZ, 2014, p.1). Dessa forma, a terraplenagem permite o nivelamento do terreno, fazendo com que este receba qualquer tipo de construção, além de ser essencial para a segurança da área construída, permitindo que as fundações das obras sejam bem estruturadas.

Os serviços de terraplenagem em uma obra é parte fundamental no sucesso de um empreendimento, pois são destinados a compatibilizar o terreno natural as condições exigidas pelo projeto (SILVA, 2016, p.27). Para garantir uma eficiente obra de terraplenagem é necessário, além do acompanhamento de um profissional qualificado, a boa escolha de equipamentos e máquinas para cada etapa específica, para assim se alcançar a produtividade esperada. O desempenho de uma máquina deve ser medido, em última análise, pelo custo unitário do material removido, medida que inclui tanto a produção quanto os custos (MANUAL DE PRODUÇÃO CATERPILLAR, 2000, p.4). Apesar de existirem diversos equipamentos com capacidade de executar serviços semelhantes, cada um possui características que os distinguem entre si, como por exemplo, rendimento e área de aplicação.

Brazilian Journal of Development

Levando em consideração as obras de terraplenagem, este artigo tem por finalidade demonstrar o cálculo do rendimento de máquinas motrizes, avaliando sua função e aplicação, pretendendo servir como um guia básico para o início de uma obra de terraplenagem.

2 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo analisar as funções e aplicações das máquinas e equipamentos de terraplenagem, bem como demonstrar o cálculo de rendimento das máquinas operatrizes para auxiliar no dimensionamento de patrulha e determinação dos custos de uma obra de movimentação de terra.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de caráter exploratório e se baseia em estudo de caso. Esta pesquisa foi realizada em duas principais etapas. A primeira etapa refere-se à classificação das máquinas e equipamentos de terraplenagem em dois grandes grupos de máquinas, motrizes e operatrizes, apontando suas funções e aplicações quanto à movimentação de terra. A segunda etapa detalha o cálculo do rendimento das máquinas e equipamentos de terraplenagem, com ênfase para as máquinas operatrizes.

4 CLASSIFICAÇÃO DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM

4.1 MÁQUINAS MOTRIZES

Segundo Couri (2016), são as máquinas que servem como fonte de energia do equipamento, podendo ser mutáveis ou definitivas, seu acionamento pode ser elétrico (no caso de equipamentos menores), mas geralmente trata-se de motor a diesel, e quando móveis, são instaladas sobre rodas ou esteiras.

Dentro deste grupo de máquinas estão as unidades de tração, comumente conhecida como trator, que podem ser de rodas ou de esteiras, além de executar a tração ou empurrar outros equipamentos para o aumento da tração de carga ou realizar atividades que não exijam o transporte de terras.

Brazilian Journal of Development



Figura 1 – Trator de rodas

Fonte: Caterpillar 2019



Figura 2 – Trator de Esteiras

Fonte: Caterpillar 2019

Visando caracterizar e diferenciar o trator de rodas e de esteiras, foi elaborado um quadro comparativo que segue abaixo:

Principais características	Trator de rodas	Trator de esteiras
Topografia	Quando é favorável	Quando é irregular
Esforço trator	Limitado	Elevado
Velocidade	Alta (< 60 Km/h)	Baixa (< 12 Km/h)
Aderência	Limitada	Boa
Flutuação	Regular	Boa
Balanceamento	Bom	Bom

Fonte: Adaptado de Couri (2016)

Tabela 1 – Trator de rodas *versus* Trator de esteiras

Onde:

- Topografia: configuração de uma extensão de terra com a posição de todos os seus acidentes naturais ou artificiais;
- Esforço trator: força máxima que a máquina pode exercer na barra de tração (esteira ou rodas motrizes) para rebocar ou empurrar as máquinas operatrizes;
- Velocidade: velocidade máxima que a máquina consegue exercer em suas atividades;
- Aderência: capacidade que a máquina tem de se deslocar sobre uma superfície sem patinar (esteiras) ou atolar (rodas);
- Flutuação: tensão da máquina sobre o solo, a capacidade de se movimentar sem afundar no terreno;
- Balanceamento: é a distribuição do seu peso em torno de seu centro de gravidade em relação à altura da máquina, de modo que se o balanceamento for bom, menor é a chance de a máquina tombar.

Brazilian Journal of Development

4.2 MÁQUINAS OPERATRIZES

Segundo Couri (2016), são as máquinas tracionadas, empurradas ou manobradas pelas unidades motrizes, podem ser mutáveis ou definitivas, trocadas dentro de uma mesma máquina motriz, além de possuir diversas funcionalidades, dependendo de cada serviço.

4.2.1 Unidades escavo-empurradoras

Corresponde ao trator de rodas ou esteira adaptado com o implemento de uma lâmina à frente do trator que o transforma em uma unidade capaz de escavar e empurrar a terra. Denomina-se trator de lâmina ou bulldozer. Dentre as diversas funções, estas máquinas podem ser utilizadas para escavações em geral, reboque de outras máquinas e também derrubar árvores.



Figura 3 – Trator de rodas com lâmina

Fonte: Caterpillar 2019



Figura 4 – Trator de Esteiras com Lâmina

Fonte: Caterpillar 2019

4.2.2 Unidades escavo-transportadoras

Estas máquinas escavam, carregam, transportam e descarregam materiais de consistência média a distâncias médias a pequenas. (até 1,0 km). Couri (2016) classifica as unidades escavo-transportadoras como equipamentos projetados para aprofundar os cortes iniciados pelos Dozers.

Os tipos mais conhecidos são o Scraper rebocado e o Motoscraper. O primeiro consiste numa caçamba que se apoia sobre dois eixos com pneumático, e atualmente já se constitui em um equipamento que já foi superado, dessa forma sendo de pouca utilidade nos canteiros de obras, e o segundo é formado por uma caçamba que se apoia sobre um eixo em sua parte

traseira e sobre um rebocador em sua parte dianteira, e é utilizado na execução de uma larga faixa de terraplenagem com produtividade e baixo custo.



Figura 5 – Scraper rebocado
Fonte: Caterpillar 2019



Figura 6 – Motoscraper
Fonte: Caterpillar 2019

4.2.3 Unidades escavo-carregadoras

São máquinas que tem a finalidade de escavar e carregar o material para uma unidade de transporte. As mais usuais são denominadas de “pás-carregadeiras”, “escavadeiras” e no caso de união de ambos, “retro-escavadeiras”.



Figura 7 – Pá-carregadeira
Fonte: Caterpillar 2019



Figura 8 – Escavadeira
Fonte: Caterpillar 2019



Figura 9 – Retro-escavadeira
Fonte: Caterpillar 2019

As pás-carregadeiras são tratores de pneus ou esteiras, com caçambas na dianteira que escavam, levantam e descarregam materiais a uma altura de até 3,00m.

As escavadeiras chamadas de pá-mecânica é um equipamento que trabalha parado. Podem ser montadas sobre esteiras, pneumáticos ou trilhos. Possuem uma lança que possibilita realizar suas tarefas em outro plano e são classificadas conforme a seguir:

a) Lança com pá frontal (shovel): são destinadas para escavações de grande porte, passagem de canais, extração de minérios subsolos de edifícios e taludes;

b) Lança com caçamba de arrasto (drag line): é formado por uma estrutura leve de treliça, com longo alcance. A caçamba, que geralmente é furada, é provida de dentes e aberturas na sua parte superior e na lateral voltada para a máquina onde se encontra sua parte cortante. Fica presa à lança por cabos isto lhe confere grande mobilidade, e faz com que a escavação ocorra quando é puxado na direção da máquina, além de permitirem que se escave a grandes distâncias as escavadeiras quando equipadas com lanças deste tipo realizam a abertura de grandes valas sem escoramento, remoção de solos moles, restauração de calhas de canais de rios construídos por depósitos naturais ou artificiais, abertura de danais de drenagem, valetas e também acabamento de taludes;

c) Lança com mandíbulas (clamshell): trata-se de uma caçamba que sobe e desce na vertical, realizando a escavação pela ação do seu peso próprio, devendo estar aberta ao final da descida e fechada no início da elevação, além de serem utilizadas na abertura de valas cujas paredes devem ser contidas com escoramentos, desde que esteja convenientemente espaçada e dentre o pequeno alcance da máquina, inclusive abaixo do seu nível.

As retro-escavadeiras possuem em sua frente uma pá montada e em sua traseira uma carregadeira, e apresenta como funções principais carregamento de caminhões, abertura de valas e nivelamento de terrenos. Pode ser considerada uma máquina 2 em 1 tem um custo de aquisição relativamente mais baixo e tem sua manutenção feita poucas vezes.

4.2.4 Unidades aplainadoras

Segundo Couri (2016), são conhecidas também como “moto-niveladores”, são máquinas projetadas para o serviço de acabamento, tombamento e espalhamento de um modo geral, conformando o terreno com cotas e greides finais do projeto geométrico de estradas, principalmente. Tem como principais características a grande mobilidade da lâmina de corte, alta precisão nos cortes e a capacidade para grandes deslocamentos para obras lineares.

As moto-niveladoras são máquinas que possuem um escarificador e uma lâmina central de corte.

Brazilian Journal of Development



Figura 10 – Moto-niveladora
Fonte: Caterpillar 2019

4.2.5 Unidades de transporte

São equipamentos destinados ao transporte de material proveniente de cortes ou pedreiras destinados a aterros, bota-fora ou à pavimentação. São utilizados quando as distâncias para uso do motoscraper ou scraper se tornam anti-econômicos.



Figura 11 – Caminhão Caçamba
Fonte: VVale 2019



Figura 12 – Caminhão fora de estrada
Fonte: Caterpillar 2019

O caminhão caçamba serve para a maioria dos serviços, transportando boa parte dos materiais na maioria dos terrenos, com bom rendimento de produção. Couri (2016), diz que é uma unidade resultante do chassi de um caminhão ligeiramente alterado ao qual se aplica uma carroceria de chapas (básculas). Na prática, a báscula é conhecida por caçamba. Os basculantes têm capacidade, que em sua grande maioria, entre 4 e 6m³.

O caminhão fora de estrada é um veículo usado para serviços pesados de grande tonelagem de transporte. Devido suas dimensões, são impedidos de circular nas estradas, sendo restritos aos canteiros de obras. Apresentam capacidade sempre superior a 10 m³.

Brazilian Journal of Development

4.2.6 Unidades compactadoras

Estas máquinas tem por finalidade a compactação do solo tanto na compactação das primeiras camadas de aterro, quanto na fase de pavimentação das vias, de forma a reduzir o índice de vazios.



Figura 13 – Rolo pé-de-carneiro
Fonte: Caterpillar 2019



Figura 14 – Rolo vibratório
Fonte: Caterpillar 2019



Figura 15 – Rolo pneumático
Fonte: Caterpillar 2019

O rolo pé-de-carneiro é utilizado na compactação de solos coesivos. O adensamento se completa quando quase não há mais a penetração das patas no solo. Couri (2016) define como um tambor metálico com protuberâncias (patas) solidarizadas, em forma tronco-cônica e com altura de aproximadamente de 20 cm. Podem ser auto propulsivos ou arrastados por trator. A camada compactada possui geralmente 15 cm, com número de passadas variando entre 4 e 6 para solos finos e de 6 a 8 para os solos grossos.

O rolo vibratório tem sua utilização em solos arenosos, com baixa porcentagem de argila. Constam de rolos lisos, com um motor vibratório, cuja, frequência e amplitude se propagam pelo tambor até o terreno. Para a maior produtividade dos serviços, a operação deve-se dar à baixa velocidade. A espessura máxima da camada é de 15 cm.

O rolo pneumático é usado para camadas delgadas de materiais e pavimentos betuminosos. Segundo Couri (2016), constam de eixos com rodas pneumáticas em número de 5 ou 7. No chassi, que se apoias obre os eixos, é colocado lastros para proporcionar pesos suficientes para a compactação.

Brazilian Journal of Development

5 DEMONSTRAÇÃO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE MÁQUINAS OPERATRIZES

Obras de terraplenagem tem um custo bastante elevado quando comparado com o custo total de obra. Devido a isso, o cálculo da produtividade dos equipamentos que irão integrar a patrulha do serviço é de suma importância, uma vez que os equipamentos trabalham em repetições de ciclos e executam as mesmas tarefas em vários trechos, a otimização dos processos, redução ou melhor aproveitamento de um equipamento sem perda de produtividade promove um alto ganho ao final.

5.1 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES ESCAVO-EMPURRADORAS

Será utilizado o método do emprego de técnicas de avaliação para medir a produção, abordado no Manual de Produção Caterpillar (2000).

Este método pode ser avaliado a partir de uma seção transversal do monte de material que se acumula na frente da lâmina. Esse material pode ser tido como um triângulo retângulo conforme mostra a figura 16 a seguir:

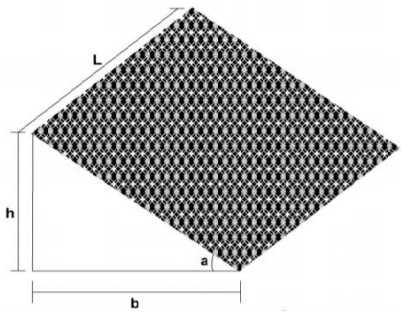


Figura 16 – Seção transversal do material acumulado na frente da lâmina

O volume de terra é calculado pela expressão (1):

$$Q = \frac{L.h^2.\mu}{2.\tan a} \quad (1)$$

em que: L: comprimento da lâmina;

h: altura da lâmina;

μ: fator de correção que depende do material a ser carregado (areia, cascalho e rocha, μ = 0,8; terra comum, μ = 1,0);

Brazilian Journal of Development

O rendimento ou produção é calculado pela expressão (2).

$$R = \frac{Q.f.E.60}{T} \quad (2)$$

em que: R: rendimento da máquina em (m³/h);

Q: capacidade da lâmina;

f: fator de correção dos volumes (empolamento);

E: fator de eficiência do trator (E = 0,8 – esteira / E = 0,7 - rodas);

T: tempo que o equipamento leva para completar um ciclo.

A expressão (2) se baseia em 60 minutos trabalhados (uma hora) como tempo de ciclo de operação da máquina, considerando uma eficiência de 100%.

5.2 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES ESCAVO-CARREGADORAS

Este método é semelhante ao empregado para as unidades escavo-empurradoras, em que adota o método do emprego de técnicas de avaliação para medir a produção.

O volume de produção é calculado pela expressão (3).

$$Q = \frac{C}{Tc} \quad (3)$$

em que: Q: volume de produção em m3 por s;

C: capacidade da caçamba em m3;

Tc: templo de ciclo do equipamento, em segundos.

O rendimento ou produção é calculado pela expressão (4).

$$R = \frac{3600.C.f.E.k}{Tc} \quad (4)$$

em que: R: rendimento da máquina em (m³/h);

C: capacidade da caçamba em m3;

f: fator de correção dos volumes (empolamento);

E: eficiência da escavação (usualmente E = 0,5);

k: fator de eficiência da caçamba pelo solo;

Tc: templo de ciclo do equipamento, em segundos.

Brazilian Journal of Development

A expressão (4) se baseia em 3600 segundos trabalhados (uma hora) como tempo de ciclo de operação da máquina, considerando uma eficiência de 100%.

5.3 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES DE TRANSPORTE

Para o cálculo de rendimento de um caminhão caçamba deve-se determinar o tempo de ciclo de uma operação conforme a expressão (5).

$$Tc = \frac{d}{V1}.0{,}06 + Tpdp + \frac{d}{V2}.0{,}06 \qquad (5)$$

em que: Tc: templo de ciclo em minutos;
d: distância média de transporte em m;
V1: Velocidade de ida carregado (km/h);
V2: – Velocidade de volta descarregado (km/h);
Tpdp: Tempo para parada, descarga e partida (min).

A expressão (6) demonstra o rendimento:

$$R = \frac{60.C.E}{Tc} \qquad (6)$$

em que: R: rendimento da máquina em (m^3/h);
C: – capacidade da caçamba em m3;
E: eficiência, que deve ser igual ao da máquina escavadeira;
Tc: templo de ciclo em minutos.

5.4 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES APLAINADORAS

O cálculo do rendimento de uma moto-niveladora se baseia na quantidade de passadas sobre a faixa de terra para que seja concluída a operação e segue conforme a expressão (7).

$$T = \sum \frac{P.Dm}{V.E} \qquad (7)$$

em que: T: tempo de a máquina leva para executar o serviço (em s);
P: número de passadas sobre a faixa para completar a operação;
Dm: extensão de cada passada (em m);
V: velocidade da máquina em cada passada (em m/s);
E: fator de eficiência (geralmente, E=0,6).

5.5 MÉTODO DO CÁLCULO DE RENDIMENTO DE UNIDADES COMPACTADORAS

O rendimento ou produção horária de um compactador de solos é influenciado pelo número de passadas até se chegar a um grau necessário de compactação, levando em consideração a espessura da camada de terra solta conforme detalhado na expressão (8):

$$R = \frac{E.V.W.H}{N} \quad (8)$$

em que: R: rendimento da máquina em (m^3/s);
E: eficiência (geralmente, E=0,80);
V: velocidade que o rolo se desloca em operação, em m3/s;
W: largura útil da faixa em cada passada;
H: espessura da camada de terra solta;
N: número de passadas do rolo até se compactar em grau necessário;

6 CRITÉRIO DE ESCOLHA DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM

No cenário atual, a busca por máquinas e equipamentos cada vez mais eficientes, com custo-benefício elevado e que tenham menor impacto ao meio ambiente tem crescido velozmente.

> Surgem novos desafios técnicos: escavação em meio urbano, com grande aproveitamento do espaço; necessidade de saúde, higiene e segurança no trabalho; mão de obra mais especializada e prazos mais apertados; o que exige um melhor planejamento, uma gestão integrada ao longo do Projeto e uma melhor previsão e controle de custos (CALHAU, 2013, p.1).

Com isso, novas tecnologias surgem a todo o momento, remodelando máquinas e equipamentos já existentes, inserindo modelos computacionais que permitem o controle em tempo real, grandes investimentos na redução do consumo de combustíveis e na emissão de gases poluentes, gerando cada vez mais aumento na produtividade na realização dos serviços. Apesar da essência de um trator de esteira ou rolo compactador, por exemplo, ser a mesma há muitos anos, vão sendo agregadas novas tecnologias que proporcionam conforto e qualidade tanto para o operador da máquina como para quem fiscaliza os serviços.

O segmento de máquinas e equipamentos está aquecido, embalado pelo fortalecimento da construção civil no país (REVISTA CONSTRUA NEGÓCIOS, jan. 2019, p.1). Neste aspecto, qualquer obra de terraplenagem, seja de pequeno, médio ou grande porte, necessita de máquinas e equipamentos básicos, como já citados, para seu perfeito andamento e conclusão. Mas então, surge a pergunta: Qual melhor equipamento a ser utilizado em uma obra de terraplenagem? Na realidade, não existe uma única máquina e/ou equipamento que supra a necessidade de uma obra de terraplenagem, mas sim um conjunto de máquinas e equipamentos que em sintonia agregam valor necessário para uma eficiente movimentação de terra.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que no momento da escolha dos melhores equipamentos para fazerem parte da patrulha para uma obra de terraplenagem, são necessários critérios de seleção voltados para a produtividade e funcionalidade acerca das máquinas e equipamentos, tendo em vista o cenário da obra de movimentação de terra e a sequência de utilização da patrulha para se alcançar um custo-benefício satisfatório, logo, a obtenção do sucesso esperado na obra.

O estudo do presente artigo tem como finalidade auxiliar no conhecimento das máquinas e equipamentos com base no cálculo de rendimento de máquinas operatrizes, elencando suas aplicações e funções básicas, impulsionando a busca e aprofundamento no assunto, uma vez que após o conhecimento acerca das máquinas e equipamentos serão necessários outros critérios para contribuir no planejamento da obra, como por exemplo, o dimensionamento da quantidade de máquinas utilizadas ao longo do tempo.

Levando em conta todos os fatores citados acima, é possível entender que as máquinas e equipamentos aplicados nas obras de terraplenagem são basicamente os mesmos de décadas atrás, mas ao longo do tempo, sofrem influência direta do surgimento de novas tecnologias, modernizando as máquinas já existentes e tornando-as mais eficientes.

Como resultado, pode-se dizer que quanto mais apurado os cálculos de rendimento das máquinas e equipamentos de terraplenagem menores são os custos de operação, visto que uma obra bem dimensionada gera índices satisfatórios.

REFERÊNCIAS

CALHAU, F. E. C. **Apoio à Decisão na Seleção de Equipamentos de Escavação.** Lisboa-Portugal, 60p., 2013. Monografia (Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico Lisboa.

CATERPILLAR. **Manual de produção Caterpillar**. Edição 31. Peoria, EUA, 2000.

SANHUEZA, J. F. & DIEZ, P. Estudo de produção de um sistema de controle de máquinas de terraplenagem. **REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil**, Goiania, 22 dez. 2014. v.9. https://doi.org/10.5216/reec.v9i3.31986

Novas tecnologias impulsionam vendas de máquinas para construção civil. **Revista Construa Negócios**. Fortaleza, jan. 2019. p.1.

PEREIRA, B. I. **Seleção e dimensionamento da frota de carregamento via simulação estudo de caso mina Ferro+ Mineração**. Ouro Preto, 84p., 2019. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

SILVA, F. B. **Avaliação da conformidade dos requisitos técnicos nos serviços de terraplenagem de empreendimentos residenciais: Estudo de caso**. Araruna, 50p., 2016. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Estadual da Paraíba.

COURI, D. **Máquinas e equipamentos – produtividade (Construção pesada).** Disponível em: <https://docplayer.com.br/48683877-Maquinas-e-equipamentos-produtividade.html> Acesso em: 15 out. 2019.

PRATA, B. A.; NOBRE, E.F.; BARROSO, G. C. Uma rede de petri colorida com temporização estocástica para a alocação de equipes em operações de terraplenagem. In:

SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: Universidade Federal do Ceará, 2008. p. 1-11.