REVISTA DESIGN & TECNOLOGIA
ISSN: 2178-1974
2025, Vol. 15, No. 31
DOI 10.23972/det2025iss31pp92-105

PGDESIGN
www.pgdesign.ufrgs.br

A manutenção de áreas verdes e o dimensionamento de equipes com inteligência de enxames: a criação de um plug-in para o AutoCAD

André B. Ferreira[1]; Jarryer A. de Martino[1]

1 *Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil*

RESUMO

O Brasil vive um cenário de crescente contingenciamento de recursos por todas as esferas do poder, que atinge diretamente as universidades públicas, impactando sua capacidade de investimentos e até mesmo de manutenção das atividades ao longo do ano. Uma universidade pode ter um ou mais *campi*, que correspondem aos espaços geográficos em que está localizada sua estrutura física. Os *campi* se organizam como pequenas cidades, e são administrados por órgãos que se assemelham a prefeituras. Sujeitos às regras que regem as contratações pelo serviço público, para a contratação de quaisquer serviços esses órgãos iniciam processos, que incluem a estimativa da quantidade a ser contratada. Estimativas imprecisas resultarão em desperdício de recursos. Este estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a elaboração de estimativas mais precisas, sendo capaz de resultar em economia. Para isso, analisou-se o serviço de manutenção de áreas verdes. Propondo a aplicação da inteligência de enxames à questão, este estudo desenvolveu um modelo matemático para que a questão pudesse ser tratada como uma instância do Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes, e aplicou a Otimização por Colônias de Formigas ao problema. O modelo foi implementado computacionalmente na linguagem C#, como um *plug-in* para o AutoCAD. O *plug-in* foi aplicado ao *campus* de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo, e diferentes cenários foram simulados e comparados. Apesar da falta de dados reais para comparação, a abordagem proposta se mostrou consistente, ao gerar resultados de mesma ordem de grandeza para os diferentes modelos (gramados e árvores) e que variam de acordo com o cenário simulado (definido pelas configurações de entrada no *plug-in*).

PALAVRAS-CHAVE

Inteligência de Enxames;
Otimização por Colônias de Formigas;
Manutenção de Áreas Verdes;
Plug-in para o AutoCAD

Green area maintenance and workforce sizing with swarm intelligence: the creation of a plug-in for AutoCAD

ABSTRACT

Brazil is experiencing a scenario of increasing resource constraints across all spheres of government. This directly affects public universities, including their ability to invest and even to maintain activities throughout the year. A university may have one or more campuses. A campus corresponds to the geographical areas where its physical structure is located. Campuses are organised like small towns, administered by bodies that are similar to local town councils. Such councils need to adhere to the rules that guide public institutions in how they should contract services. Such processes of hiring any kind of services include estimating the quantity to be contracted. Inaccurate estimates will result in wasting public money. This study proposes the development of a tool that allows making more accurate estimates, with potential to result in less expenditures. To this end, the service of maintenance of green areas was analysed. By applying principles of swarm intelligence, a mathematical model was developed to frame the problem as a case of the Multiple Traveling Salesman Problem. Ant Colony Optimization was then applied to address the problem. The model was implemented computationally in the C# language as a plug-in for AutoCAD. The plug-in was applied to the campus of the Federal University of Espírito Santo (UFES), located it Goiabeiras. Different scenarios were simulated and compared. Despite of the lack of existing data for comparison, the proposed approach proved to be consistent, generating comparable results for the different models (lawns and trees), varying according to the scenario to be simulated (defined by the input settings of the plug-in).

KEYWORDS

Swarm Intelligence;
Ant Colony Optimization;
Green Areas Maintenance;
AutoCAD Plug-in

CONTATO: André B. Ferreira – *andrebarcellosferreira@gmail.com*

© 2025 – Revista Design & Tecnologia

1. INTRODUÇÃO

As universidades públicas são parte do Estado, mas são consideradas autarquias, segundo a Lei de Diretrizes e Bases. Como autarquias, elas se autorregulam, com relação a investimentos, manutenção e gestão de um modo geral. Os recursos dessas universidades vêm da esfera correspondente, sejam da União, no caso de universidades federais, sejam dos Estados, no caso de universidades estaduais. Esses recursos vêm divididos em dois grupos: recursos de capital (para investimentos) e recursos de custeio (para arcar com as despesas correntes de operação da universidade). Os recursos de custeio compreendem todos os gastos nas mais variadas áreas da universidade, e em cada área esse dinheiro é empregado ao longo do ano por meio de contratações de serviços terceirizados, por meio de licitações ou outras modalidades de contratação admitidas pela lei.

Tem sido uma realidade recorrente, em anos recentes, a dificuldade de as universidades públicas conseguirem manter seu pleno funcionamento durante todo o ano, em razão de orçamentos que não acompanham a inflação, e se mostram cada vez menores em comparação com as despesas. Nesse cenário, uma ferramenta que permita uma melhor estimativa da força de trabalho necessária para a execução dos serviços nos *campi* pode, certamente, contribuir para a realização de licitações de menores valores, resultando em economia para as universidades, aliviando essa situação de escassez de recursos.

Este estudo analisou a questão da alocação de recursos pelo ponto de vista do setor de engenharia das prefeituras universitárias. Uma área à qual não tem sido dada tanta importância é a manutenção das áreas verdes, cuja gestão do contrato de terceirização deveria ficar a cargo do setor de meio-ambiente, mas em muitos casos fica sob responsabilidade de outros setores, como é o caso da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em que a gestão desse contrato fica a cargo da Diretoria de Segurança e Logística. Independentemente do setor responsável pela gestão do contrato, normalmente essa gestão é feita utilizando o AutoCAD como software para a realização de medições e registro das atividades realizadas.

Diante desse contexto, num cenário de surgimento de variadas soluções que aplicam inteligência artificial às mais diversas áreas e atividades, este trabalho buscou aplicar a Otimização por Colônias de Formigas (ACO, do termo em inglês *Ant Colony Optimization*) à otimização do dimensionamento das equipes de manutenção das áreas verdes de *campi* universitários (utilizando o *campus* de Goiabeiras da UFES como estudo de caso), resultando na produção de um *plug-in* para o AutoCAD.

A ACO integra a área conhecida como inteligência de enxames, uma inteligência artificial baseada na reprodução computacional de coletivos de insetos. A inteligência de enxames, por sua vez, faz parte da chamada computação inspirada na natureza. A opção pelo *plug-in* para o AutoCAD deveu-se à tentativa de criar uma solução que se integrasse ao fluxo atual de trabalho dos profissionais que já atuam na elaboração das licitações e na fiscalização dos contratos de terceirização do serviço de manutenção de áreas verdes.

O artigo está organizado da seguinte forma: a presente seção faz a introdução ao tema do artigo, apresentando sua contextualização e justificativa. A segunda seção define o que são a computação inspirada na natureza, a inteligência de enxames e a ACO. A terceira seção descreve a formulação computacional proposta para o problema. A quarta seção apresenta o programa criado. Por fim, a quinta seção traz as conclusões do artigo.

2. COMPUTAÇÃO INSPIRADA NA NATUREZA, INTELIGÊNCIA DE ENXAMES E ACO

Alan Turing é conhecido por muitos por ter sido o responsável por decifrar a máquina de criptografia nazista na Segunda Guerra Mundial. Contudo, suas contribuições para a ciência vão muito além desse feito. Turing participou dos esforços para a criação dos computadores, e um dos últimos artigos publicados antes de sua morte, em 1954, contribuiu enormemente para o surgimento de toda a área da computação inspirada na natureza. No artigo *"The chemical basis of morphogenesis"*, publicado em 1952, Turing descreve um modelo matemático através do qual agentes simples, seguindo regras simples, geram resultados incrivelmente complexos. Nas palavras dele: *"O propósito deste artigo é discutir um possível mecanismo pelo qual os genes de um zigoto podem determinar a estrutura anatômica do organismo resultante" (TURING, 1952, p. 1).*

Em 1970, a bióloga Evelyn Fox Keller e o estudante de matemática Lee Segel deram início a uma nova área da computação inspirada na natureza, que agrupava as soluções computacionais que se baseavam na simulação de coletivos de insetos, com a publicação do artigo *"Initiation of slime mold aggregation viewed as an instability"*. Nesse artigo, eles utilizaram os conceitos abordados no artigo de Turing para descrever como o bolor limoso era capaz de se comportar ora como uma criatura única, e ora como um enxame. De acordo com Keller e Segel, as células de bolor conseguiam dar início ao processo de agregação através do controle da quantidade de acrasina (um tipo de feromônio) que eles liberavam individualmente. Um número maior de células seguia por caminhos onde havia maior quantidade de acrasina, criando um processo de *feedback* positivo que acabava por resultar em verdadeiros aglomerados. As células de bolor conseguiam criar e passar a seguir trilhas de acrasina que respondiam a mudanças globais no ambiente.

Essa nova área, iniciada por Keller e Segel, passou, em 1989, a ser chamada de inteligência de enxames (BENI; WANG, 1993). Em 1992, Marco Dorigo propôs a primeira versão de um algoritmo que simulava computacionalmente as colônias de formigas, dando origem a uma subárea da inteligência de enxames, que seria posteriormente descrito como uma nova meta-heurística: a ACO.

3. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA COMPUTACIONAL

A meta-heurística da ACO, criada por Marco Dorigo em 1992, tem sido aplicada para resolver diferentes instâncias do Problema do Caixeiro Viajante (TSP, do termo em inglês *Traveling Salesman Problem*), ou analogias a ele. Portanto, para a aplicação da ACO ao dimensionamento das equipes de manutenção das áreas verdes de *campi* universitários, a questão precisou ser traduzida como uma analogia ao TSP. Considerando as distâncias entre as áreas verdes de um *campus*, que precisam ser acessadas para que os serviços de manutenção sejam realizados, os locais de realização das atividades de manutenção passaram a ser interpretados como cidades (ou vértices), e os trabalhadores passaram a ser interpretados como caixeiros (ou formigas), numa instância do TSP que descreveria o problema.

No entanto, o TSP implica que uma única formiga percorra todos os vértices do problema (o que equivaleria a um único trabalhador realizar todas as atividades de manutenção no *campus*). Diante disso, a questão foi descrita como uma analogia ao Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes (MTSP, do termo em inglês *Multiple Traveling Salesman Problem*), em que, ao invés de uma única formiga, m formigas percorrem cada um dos vértices do problema.

3.1 Team Ant Colony Optimization

Para resolver o MTSP, foi utilizado o Team Ant Colony Optimization (TACO), algoritmo proposto por Vallivaara (2008, apud BARBOSA, SILVA JR., KASHIWABARA, 2013), que adapta o Ant Colony System (desenvolvido originalmente para resolver o TSP) para o MTSP. Ao invés de um único caixeiro, o algoritmo considera a existência de m caixeiros viajantes. Considerando um problema com N vértices, cada caixeiro guarda a informação (memória) dos vértices visitados, e o time guarda a informação dos vértices visitados por todos os caixeiros.

No início da simulação, todas as formigas (caixeiros) estão na origem, e a memória de todas está vazia (assim como a lista de vértices visitados pelo time). Enquanto o quantitativo de vértices N do problema for maior do que a soma dos vértices visitados pelos caixeiros o processo de atribuição de vértices continua. Em cada passo da simulação, a formiga com menor rota parcial escolhe probabilisticamente (de acordo com a regra do Ant Colony System) seu próximo vértice. No entanto, antes que a formiga efetivamente se mova, é verificado se, caso esse vértice fosse cedido a qualquer outra formiga do time, isso resultaria num tamanho total menor para a solução do time. Se isso for verdadeiro, a formiga inicial não se move, mas sim a formiga cujo movimento resultou numa menor distância total para a solução. Essa formiga também ganha o direito de escolher seu próximo vértice.

3.2 Modificação Implementada ao TACO

No entanto, verificou-se que, para times com mais de cinco formigas, o mecanismo de distribuição dos vértices do algoritmo, apesar de continuar encontrando as melhores soluções globais em relação à menor distância total, resultava em distribuições de vértices muito desiguais entre as formigas. Considerando que cada vértice representa uma área (com uma carga de trabalho associada), o desbalanço entre o número de vértices por formiga implica num desbalanço entre as cargas de trabalho dos trabalhadores, o que não é o objetivo da simulação.

Para evitar que tal situação aconteça, foi estabelecido um limite para o número de vértices da solução de cada formiga, de 1,2 vezes a razão entre o número total de vértices do problema e o número de formigas no time. Novos vértices continuarão sendo oferecidos inicialmente à formiga com menor distância total de trajeto, mas deixarão de ter suas cessões às formigas que já tenham atingido o limite de vértices testadas. Ao final ainda poderá haver formigas com soluções maiores que o valor definido, mas o estabelecimento desse limite será capaz de proporcionar uma solução com melhor distribuição de vértices entre as formigas do time.

4. APRESENTAÇÃO DO PLUG-IN

Como já descrito, o programa desenvolvido é um *plug-in* para o AutoCAD, denominado *Green Maintenance Optimizer*. Ele é carregado junto com o AutoCAD, quando este é aberto. *O plug-in* adiciona uma nova guia às já existentes em sua área de trabalho: a guia *Green Maintenance Optimizer* (Figura 1). Nessa guia estão todos os comandos do *plug-in*, organizados em painéis.

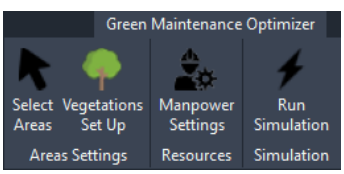


Figura 1 Guia Green Maintenance Optimizer. (Fonte: Elaborado pelos autores)

O fluxo de trabalho no *plug-in* se inicia pela geolocalização do *campus*, utilizando o comando *Set Location* (nativo do AutoCAD). Selecionando a opção *From Map*, é possível especificar a localização geográfica exata do *campus*, e a partir de então tudo o que for desenhado estará referenciado à localização definida. Feito isso, a visualização do mapa da região selecionada estará habilitada dentro do AutoCAD, em escala real. O passo seguinte é o desenho das áreas. Todas as áreas de gramado a serem consideradas na simulação devem ser desenhadas utilizando a ferramenta *Polyline*, na forma de polilinhas fechadas, e no *layer Grass*.

A localização das árvores necessita ser importada para o desenho, no *layer Trees*. Isso pode ser feito através da utilização de arquivos GIS (sigla em inglês para Sistema de Informações Geográficas), com inventários da vegetação arbórea. Muitas cidades, parques e *campi* universitários possuem esse inventário atualizado, onde normalmente consta a localização e a espécie da árvore. Finalmente, a origem deve ser representada por um círculo, no *layer Origin*.

O passo seguinte são as configurações relacionadas aos trabalhadores. Por padrão, um tipo de trabalhador vem configurado: *Outsourced worker* (trabalhador terceirizado), mas é possível criar novos tipos de trabalhador. Também estão disponíveis configurações de: velocidade de deslocamento; número de turnos de trabalho por dia; duração do turno de trabalho; e tempo de descanso durante a jornada. A duração da jornada de trabalho é o tempo disponível para o trabalhador terminar seu percurso. O tempo de descanso é subtraído da duração do turno de trabalho na simulação, significando que nesse período o trabalhador está em descanso e não cumprindo o seu percurso de trabalho.

Feitas as configurações relacionadas aos trabalhadores, o passo seguinte é a configuração das vegetações. Para gramados, estão disponíveis configurações de frequência de poda, frequência de irrigação e intervalo das ações de remoção de espécies invasoras. Para árvores, estão disponíveis as configurações de frequência das ações de poda e distribuição percentual das árvores no *campus* por faixas de diâmetro médio de tronco: menores do que 20 cm, de 20 cm a 40 cm, de 40 cm a 60 cm e maiores do que 60 cm.

Resta então a configuração das atividades de manutenção propriamente ditas. As atividades foram retiradas de cadernos e encargos, de manuais e projetos de paisagismo; as configurações estão separadas em gramados e árvores. Para cada uma delas deve-se definir o tempo gasto de encarregado e ajudante para a execução de 1000 m² de serviço. Também deve-se especificar qual trabalhador irá executar cada um dos serviços. Para árvores, as configurações são de tempo gasto por encarregado e ajudante na execução de uma unidade do serviço, de acordo com a estratificação citada anteriormente, por diâmetro médio de tronco.

4.1 Origem dos Dados que Abasteceram o Modelo

Para os dados de frequência, foram analisadas publicações relacionadas à manutenção de áreas verdes (tanto para gramados quanto para árvores), buscando-se recomendações de valores para as frequências das ações de: poda em gramados, irrigação em gramados, remoção de espécies invasoras em gramados e poda em árvores. Publicações que tratassem de gramados com usos específicos (como campos de golfe ou de futebol) foram desconsideradas.

Para as frequências das ações em gramados, foram compilados os dados que tratam da grama Esmeralda, espécie considerada no estudo de caso. Para a poda, Becker (2012) recomenda: frequências de 2 vezes/semana no verão e 1 vez/semana no inverno. Já a Associação Nacional Grama Legal (2023) recomenda: de 1 a 2 vezes/semana em épocas quentes

e de 2 a 4 vezes/mês em épocas frias. Para a irrigação, Giacoia Neto (8) recomenda, para os meses mais quentes, frequências de 3 a 4 vezes/semana em gramados com baixa resistência à seca e de 1 vez/semana em gramados mais resistentes — informações que se destacaram como as referências mais consistentes disponíveis na literatura consultada.

Em relação às ações de remoção de espécies invasoras, Giulietti et al. (2018) recomenda ações mensais no período de chuvas (de janeiro a maio) e a cada dois meses no restante do ano. Já Venner (2006) relatou a obtenção de bons resultados no controle dessas espécies com ações realizadas entre duas e quatro vezes por ano. Em relação à poda de árvores, Menezes (2021) indica que as ações podem ser anuais, bianuais ou polianuais.

Apesar de tomar as publicações analisadas como referência, entendendo que pode ser necessário simular cenários não abarcados por elas, o *plug-in* permite a configuração de frequências menores do que as recomendadas. Os intervalos adotados entre as ações de manutenção foram os expressos na Tabela 1.

Tabela 1 Intervalos entre ações de manutenção

Atividade	Faixa de intervalos
Poda de gramados	0,5 semanas a 1 mês
Irrigação de gramados	0,25 semanas a 1 mês
Remoção de espécies invasoras	1 a 12 meses
Poda em árvore	1 a 5 anos

(Fonte: Elaborado pelos autores)

Para a definição das produtividades dos trabalhadores na realização das atividades de manutenção, foram utilizadas suas composições unitárias, retiradas de diferentes fontes (Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8).

Tabela 2 Composição de custo unitário de corte de áreas gramadas – 1.000 m²

Componente	Unidade	Consumo
Caminhão carroceria – 4 t (80 kW)	h (produtiva) h (improdutiva)	0,50 0,50
Roçadeira – em micro trator (10 kW)	h (produtiva)	1,00
Encarregado	h	0,10
Servente	h	2,00

(Fonte: adaptado de DNIT, 2003, p. 178)

Tabela 3 Composição de custo unitário de irrigação de área verde com pulverizador – 10.000 m²

Componente	Unidade	Consumo
Servente	h	12,00
Água	l	3,50
Pulverizador costal com capacidade de 20 litros	h	12,00

(Fonte: adaptado de Embrapa, 2012, p. 19)

Tabela 4 Composição de custo unitário de remoção de espécies invasoras (manual) – 10.000 m²

Componente	Unidade	Consumo
Servente	h	40

(Fonte: adaptado de Embrapa, 2012, p. 6)

Tabela 5 Composição de custo unitário de poda em altura de árvore com diâmetro de tronco menor que 0,20 m

Componente	Unidade	Consumo
Guindauto hidráulico	h produtiva	0,20480
Guindauto hidráulico	h improdutiva	0,48730
Servente	h	0,69210
Jardineiro	h	0,69210

(Fonte: SINAPI, 2023, p. 66)

Tabela 6 Composição de custo unitário de poda em altura de árvore com diâmetro de tronco maior ou igual a 0,20 m e menor que 0,40 m

Componente	Unidade	Consumo
Guindauto hidráulico	h produtiva	0,40960
Guindauto hidráulico	h improdutiva	1,75020
Servente	h	2,15980
Jardineiro	h	2,15980

(Fonte: SINAPI, 2023, p. 68)

Tabela 7 Composição de custo unitário de poda em altura de árvore com diâmetro de tronco maior ou igual a 0,40 m e menor que 0,60 m

Componente	Unidade	Consumo
Guindauto hidráulico	h produtiva	1,22880
Guindauto hidráulico	h improdutiva	3,99020
Servente	h	5,21900
Jardineiro	h	5,21900

(Fonte: SINAPI, 2023, p. 70)

Tabela 8 Composição de custo unitário de poda em altura de árvore com diâmetro de tronco maior ou igual a 0,60 m

Componente	Unidade	Consumo
Guindauto hidráulico	h produtiva	1,63840
Guindauto hidráulico	h improdutiva	7,15810
Servente	h	8,79650
Jardineiro	h	8,79650

(Fonte: SINAPI, 2023, p. 72)

4.2 Simplificações e Consolidação dos Dados

A partir das configurações dos trabalhadores, vegetações e atividades, *o plug-in* consolida os dados que serão utilizados na simulação a partir de uma série de simplificações e convenções adotadas. As principais são:

- a manutenção das áreas verdes é considerada um problema discreto;
- as semanas são consideradas de 5 dias (os fins de semana não são considerados na correção das frequências); os meses são considerados de 4 semanas; os meses são considerados de 22 dias (removendo quatro fins de semana de um período de 30 dias); os anos são considerados de 365 dias;
- a simulação utiliza grades de pontos sobre o *campus* (com a escala definida pelo usuário) para representar as atividades de manutenção, tanto para gramados quanto para árvores;
- cada área de gramado tem a integralidade das atividades nela realizadas contabilizada e dividida pelo número de pontos de grade que estão localizados em seu interior. Cada um desses pontos recebe o que convencionou-se chamar de custo de permanência: o tempo que é acrescido à jornada do trabalhador que passar por aquele ponto;
- apesar dos trabalhos de encarregado e ajudante estarem discriminados nas configurações (para reproduzir as composições de custo unitário dos serviços), ambas as atividades são executadas pelo mesmo profissional, de modo que o tempo gasto pelo profissional será igual à soma dos tempos de encarregado e ajudante;
- as atividades de manutenção em gramados (irrigação, poda e remoção de espécies invasoras) podem ser consideradas ou não na simulação, a depender da

configuração feita pelo usuário, e essa configuração será aplicada a todas as áreas;

- as atividades de manutenção em árvores são obrigatoriamente consideradas na simulação;
- o tempo de execução de cada serviço a ser executado nas áreas de gramado é dado pelo produto da área e do consumo de mão de obra por metro quadrado;
- esse tempo de execução é multiplicado pela frequência (para cada serviço); o total dos produtos, corrigido para um período de um dia, é o custo de permanência considerado na simulação;
- nenhuma árvore atribuída são removidos da grade, e deixam de fazer parte da simulação;
- a determinação do tempo de execução dos serviços em árvores é feita ponderando os tempos de execução de acordo com a distribuição das árvores por faixa de tamanho de tronco.



Figura 2 Fluxograma do funcionamento do *plug-in*. (Fonte: Elaborado pelos autores)

As simplificações, convenções e decisões de modelagem apresentadas nesta subseção constituem o núcleo da contribuição metodológica deste trabalho. Embora a Otimização por Colônias de Formigas seja empregada como mecanismo de busca para a definição de rotas (como é comum em trabalhos que aplicam a ACO ao TSP ou ao MTSP), seu papel está restrito à otimização de trajetos para um conjunto de parâmetros previamente estabelecidos. O diferencial da solução proposta reside na forma como o problema real da manutenção de áreas verdes é estruturado, consolidado e iterativamente reformulado, permitindo a avaliação de diferentes configurações operacionais por meio de sucessivas execuções do algoritmo com a variação controlada do tamanho das equipes. A Figura 2 sintetiza esse processo, evidenciando que a ACO atua como um motor interno de otimização, enquanto a modelagem do problema, a consolidação dos dados e o mecanismo de redimensionamentos sucessivos das equipes são específicos da abordagem desenvolvida.

4.3 Aplicação ao Estudo de Caso

A Figura 3 mostra a visualização do *campus* de Goiabeiras no AutoCAD, com os limites do *campus* e todas as áreas de gramado desenhadas, e as árvores representadas como pontos. Como pode-se observar, a distribuição geográfica do *campus* é na direção norte-sul; o *plug-in* utiliza as distâncias entre as coordenadas extremas em ambas as direções para determinar em que direção o *campus* está distribuído, e rotacionar a visualização do *campus* na janela de simulação se necessário (para que a maior dimensão seja mostrada sempre na horizontal, otimizando a visualização). No caso do *campus* de Goiabeiras, utilizado como modelo, o *campus* é girado em 90°.



Figura 3 Visualização do *campus* de Goiabeiras com as áreas desenhadas e a localização das árvores importada. (Fonte: Elaborado pelos autores)

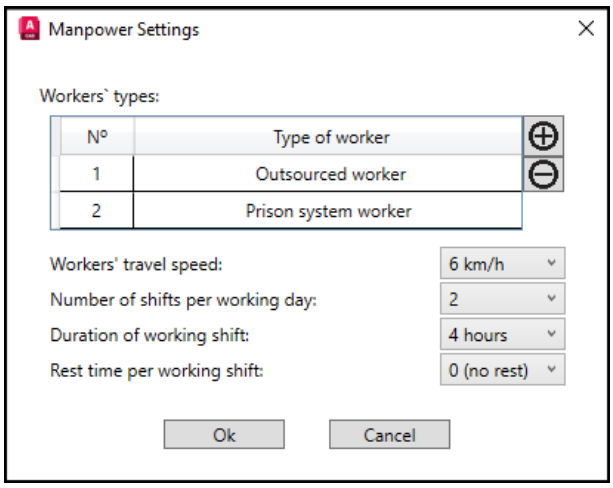


Figura 4 Janela Manpower Settings. (Fonte: Elaborado pelos autores)

Concluída a parte gráfica, o passo seguinte são as configurações das vegetações e trabalhadores. As configurações dos trabalhadores são feitas através do comando *Manpower Settings*, localizado no painel *Resources* da guia *Green Maintenance Optimizer*. Quando acionado, ele abre uma janela de mesmo nome (Figura 4). Nela, os trabalhadores existentes podem ser renomeados, assim como novos tipos de trabalhadores podem ser criados. Pode-se definir também a velocidade de deslocamento dos trabalhadores, o número de turnos de trabalho, a duração dos turnos, e o período de descanso por turno de trabalho

O número e a duração dos turnos de trabalho estão relacionados: trabalhadores com dois turnos de trabalho terão duração dos turnos de 4 horas, e trabalhadores com um turno terão duração do turno de 6 horas; o tempo de descanso por turno de trabalho pode variar de 0 a 60 minutos.

Em seguida deve-se passar às configurações das vegetações. Essas configurações são feitas através do comando *Vegetations Set Up*, localizado no painel *Area Settings*. Quando acionado, ele abre a janela *Types of Vegetations*. Ela possui duas abas: *Grass* (Figura 5) e *Trees* (Figura 6). Na aba *Grass*, as configurações incluem as frequências das atividades de poda e irrigação de gramados, de acordo com as estações do ano (verão e primavera; ou inverno e outono); também incluem o intervalo entre as ações de remoção de espécies invasoras. Na aba *Trees*, as configurações incluem a distribuição percentual das árvores existentes no *campus* por faixa de diâmetro médio de tronco e a periodicidade na qual cada árvore será podada.

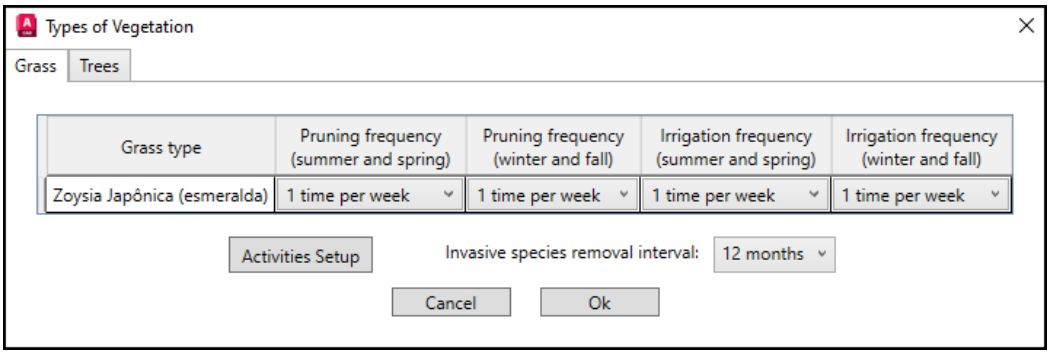


Figura 5 Janela Types of Vegetation (aba Grass). (Fonte: Elaborado pelos autores)

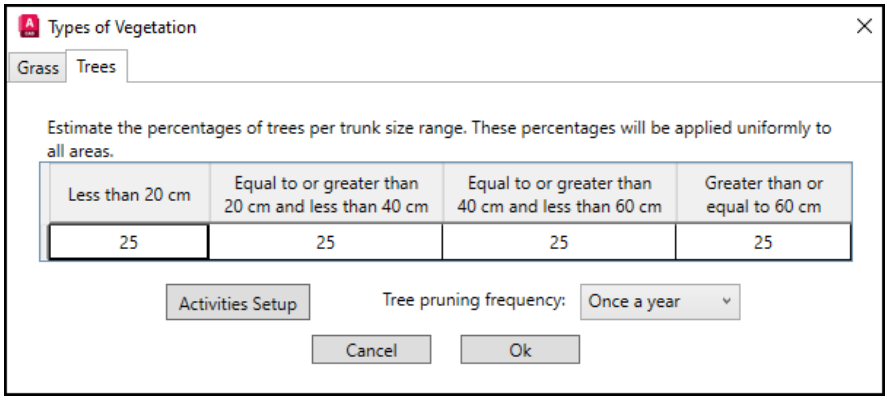


Figura 6 Janela Types of Vegetation (aba Trees). (Fonte: Elaborado pelos autores)

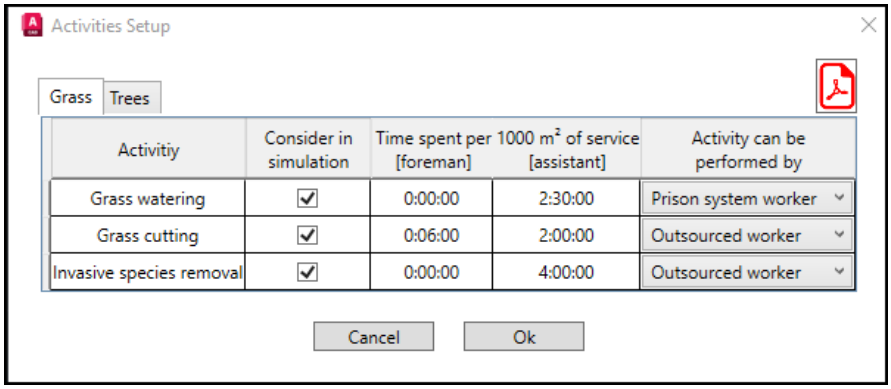


Figura 7 Janela Activities Setup (aba Grass). (Fonte: Elaborado pelos autores)

Além disso, a janela *Types of Vegetation* possui o botão *Activities Setup*, que abre uma janela de mesmo nome. A janela *Activities Setup* também está dividida nas abas *Grass* (Figura 7) e *Trees* (Figura 8). Na aba *Grass*, as configurações incluem, para as atividades de irrigação de gramados, poda de gramados e remoção de espécies invasoras: se serão consideradas ou não na simulação, tempos gastos por encarregado e ajudante para a execução de 1000 m² do serviço, e qual o tipo de trabalhador responsável pela execução. Na aba *Trees*, as configurações incluem, para cada faixa de diâmetro médio de tronco: os tempos gastos por encarregado e ajudante para a execução da poda em uma árvore; e qual trabalhador será responsável pela execução do serviço.

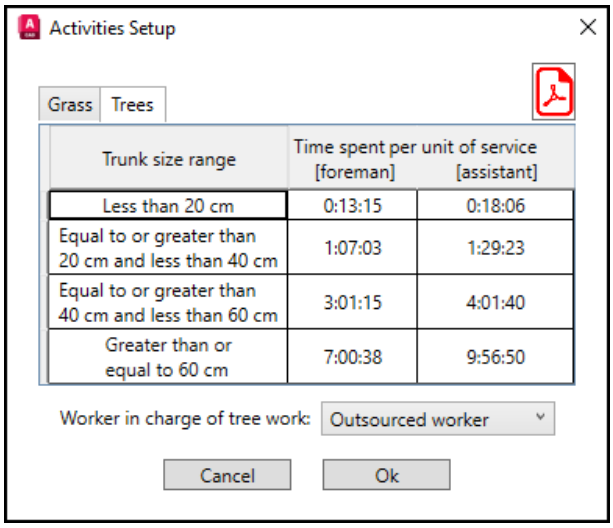


Figura 8 Janela Activities Setup (aba Trees). (Fonte: Elaborado pelos autores)

Concluídas essas configurações, o comando *Run Simulation*, localizado no painel *Simulation*, abre a janela de simulação (Figura 9), onde as configurações finais são feitas e a simulação é iniciada. Essas configurações incluem: escala das grades de pontos para gramados e árvores; estação do ano a ser considerada na simulação; números de iterações para as buscas inicial e refinada; e números de times para as buscas inicial e refinada.

A escala da grade é configurável, mas deve ser mantido um valor tal que não resulte em um número de pontos muito grande (o que tornaria a complexidade computacional do problema muito grande, aumentando o tempo ou mesmo inviabilizando sua solução) ou um número de pontos muito pequeno (que resulte em áreas de gramado sem nenhum ponto em seu interior, fazendo com que tais áreas sejam ignoradas pela simulação). A configuração da estação do ano a ser considerada na simulação irá impactar no alcance do resultado. As frequências das atividades são maiores nos meses de primavera e verão, tal que os resultados de simulações considerando essas estações suprirão a demanda nas demais; o contrário, por outro lado, não será verdadeiro.

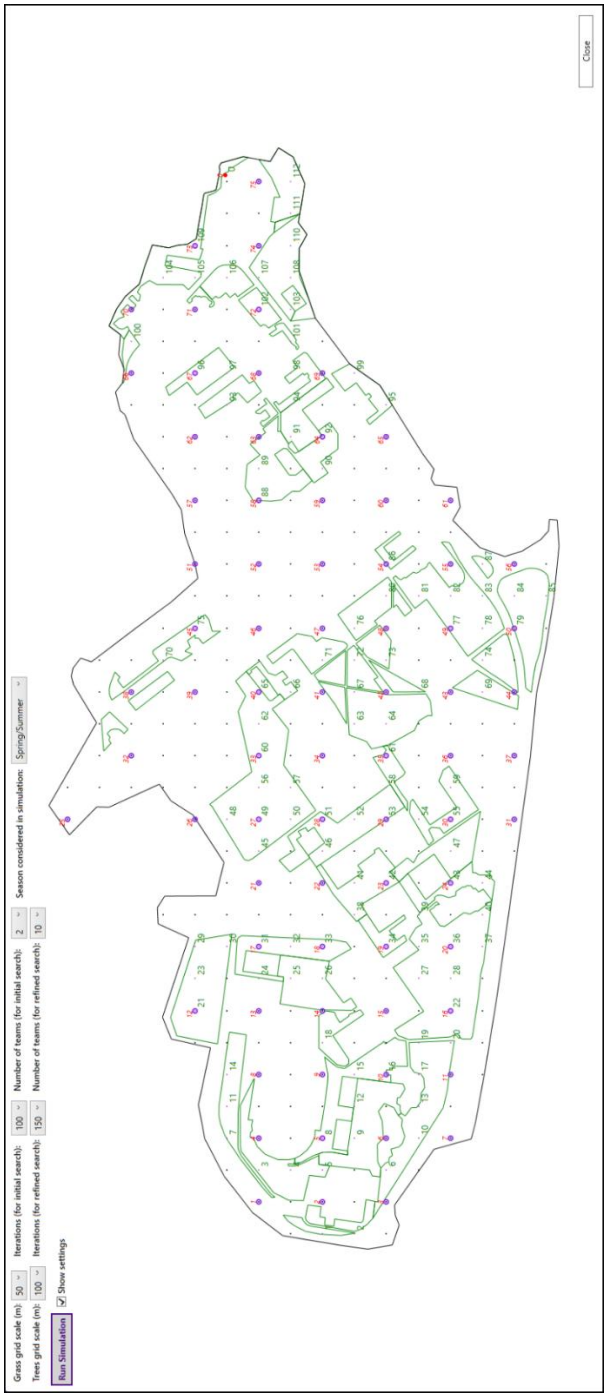


Figura 9 Janela de Simulação. (Fonte: Elaborado pelos autores)

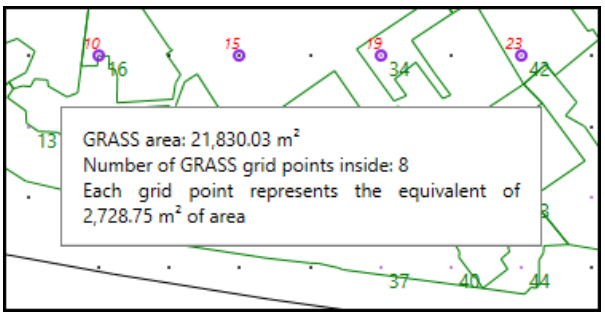


Figura 10 Tooltip para área de gramado (Fonte: Elaborado pelos autores)

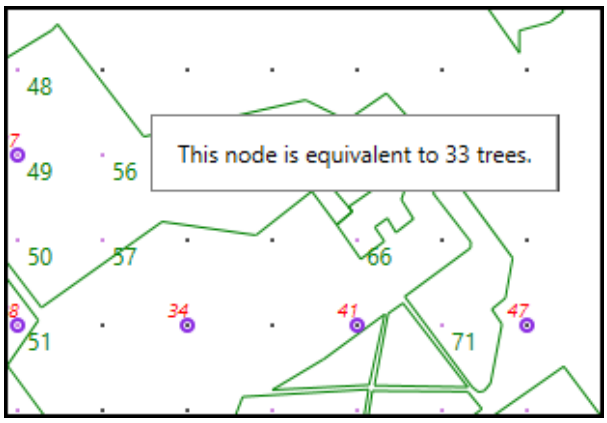


Figura 11 Tooltip para ponto de grade de árvores. (Fonte: Elaborado pelos autores)

4.4 Resultados Gerados

O botão *Run Simulation* inicia a simulação, numa janela auxiliar, sobreposta, que indica o progresso, e registra os passos da simulação. A simulação separa as áreas de gramado e das árvores; dentro das áreas de gramado, ela diferencia os tipos de trabalhador utilizados para cada atividade, caso haja mais de um. A Figura 12 mostra o início da simulação para os trabalhadores do tipo *"Prison system worker"* (trabalhador do sistema prisional); a Figura 13 mostra o resultado da busca inicial.

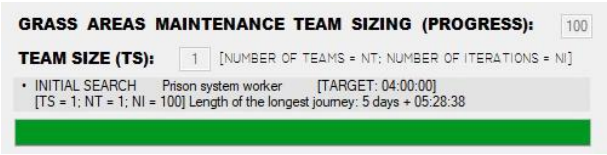


Figura 12 Janela de progresso da simulação (1). (Fonte: Elaborado pelos autores)

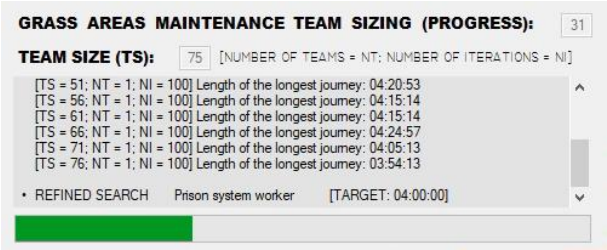


Figura 13 Janela de progresso da simulação (2). (Fonte: Elaborado pelos autores)

A

Figura 14 mostra o resultado da simulação para os trabalhadores do tipo *"Prison system worker"* e o início da simulação para os trabalhadores do tipo *"Outsourced worker"*. A Figura 15 mostra o resultado da busca inicial, o resultado da busca refinada e o resultado final; também mostra o início da simulação (busca inicial) para árvores.

A Figura 16 mostra o resultado da busca inicial, o resultado da busca refinada e o resultado final para árvores.

O resultado do dimensionamento do time de formigas para as árvores conclui a simulação. Automaticamente a janela auxiliar de registro de progresso e dos passos da simulação se fecha e a janela *Result* (Figura 17) é aberta. Ela está dividida em quatro regiões: as configurações da simulação; os passos da simulação; os resultados da simulação para o dimensionamento dos times de formigas; e o resultado da simulação para os times de trabalhadores.

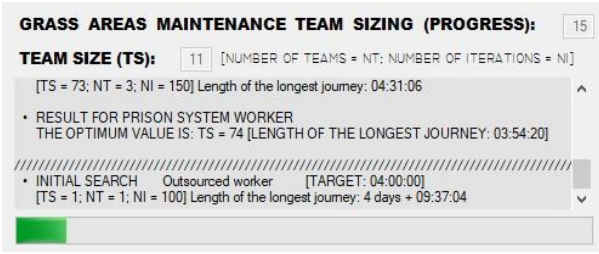


Figura 14 Janela de progresso da simulação (3). (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 15 Janela de progresso da simulação (4). (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 16 Janela de progresso da simulação (5). (Fonte: Elaborado pelos autores)

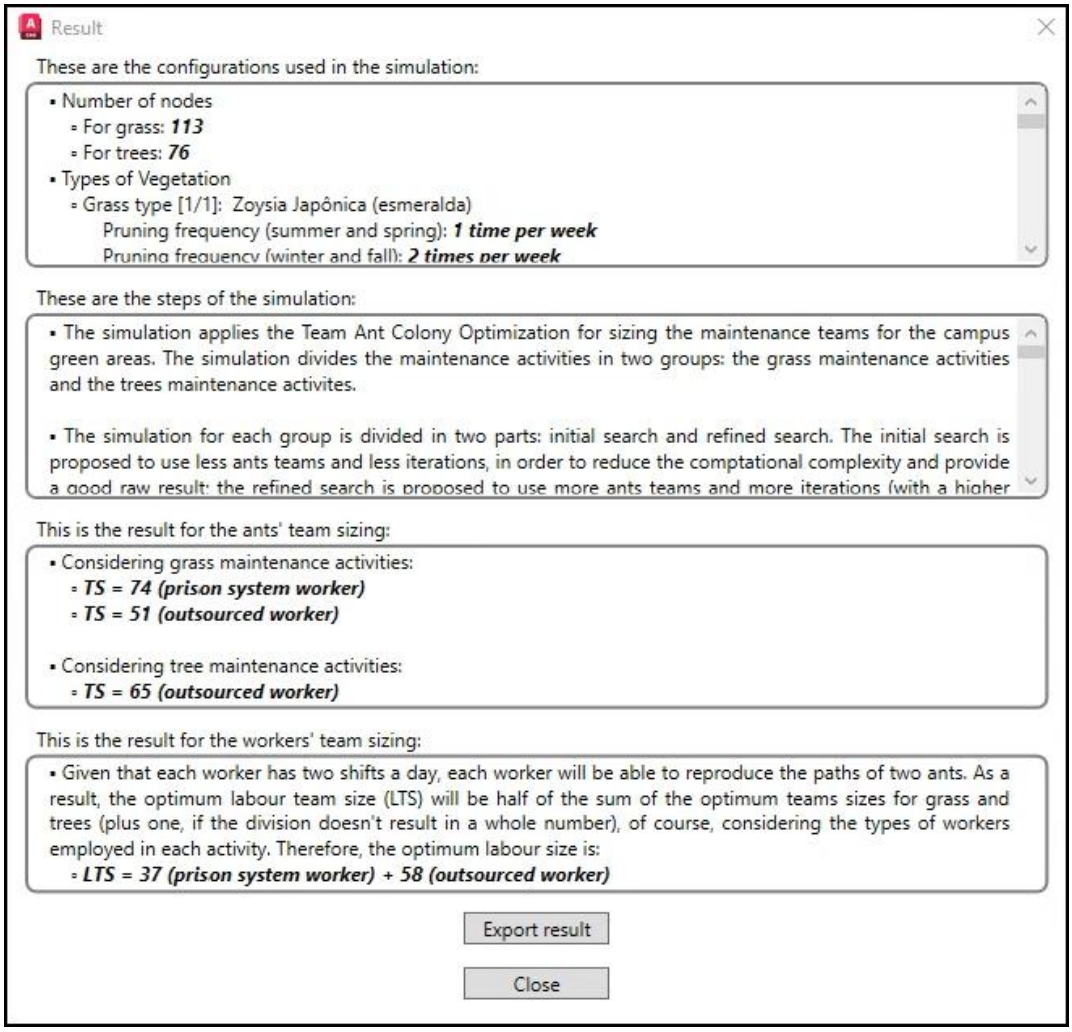


Figura 17 Janela Result. (Fonte: Elaborado pelos autores)

O botão *Export result* abre a janela de mesmo nome, da classe *SaveFileDialog* (Figura 18). Nela, o usuário pode salvar o arquivo com o resultado da simulação no diretório desejado. O arquivo tem extensão RAR, e contém as pastas PATHS e SIMULATION STEPS e o arquivo REPORT.pdf (Figura 19).

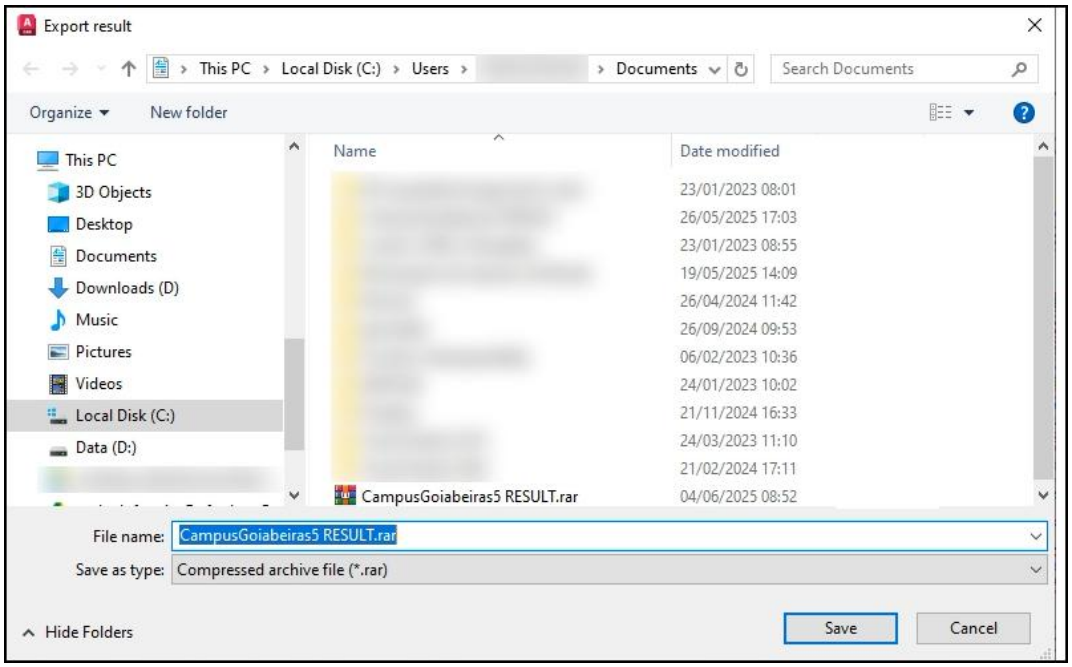


Figura 18 Janela Export Result. (Fonte: Elaborado pelos autores)

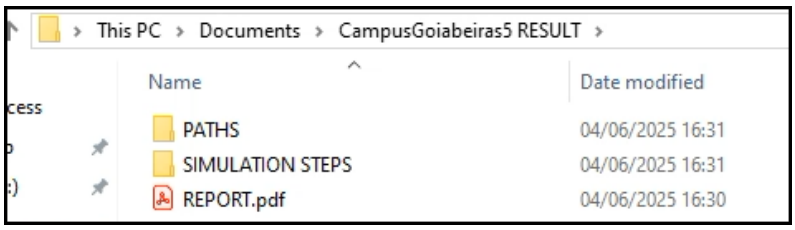


Figura 19 Conteúdo do arquivo RAR gerado. (Fonte: Elaborado pelos autores)

As pastas no interior da pasta PATHS contêm as imagens dos trajetos individuais de todas as formigas que fazem parte dos times apontados como resultados da simulação (para cada tipo de trabalhador, para gramados e árvores). A Figura 20, a Figura 21 e a Figura 22 mostram os últimos arquivos contidos nessas pastas.

As pastas no interior da pasta SIMULATION STEPS contêm todos os arquivos de texto com os relatórios de todas as etapas da simulação, separados por tipo de trabalhador e por tipo de busca (inicial e refinada). A Figura 23, a Figura 24, a Figura 25, a Figura 26, a Figura 27 e a Figura 28 mostram os últimos arquivos contidos nessas pastas.

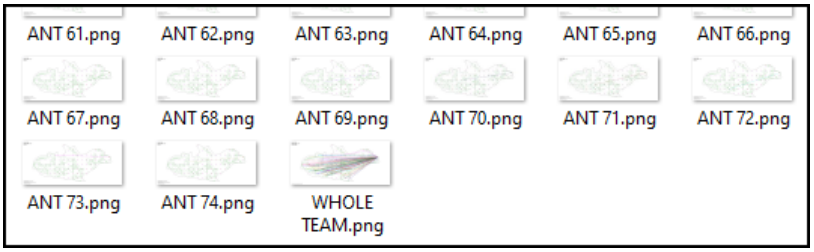


Figura 20 Últimos arquivos da pasta PATHS\GRASS\PRISON SYSTEM WORKER. (Fonte: Elaborado pelos autores)

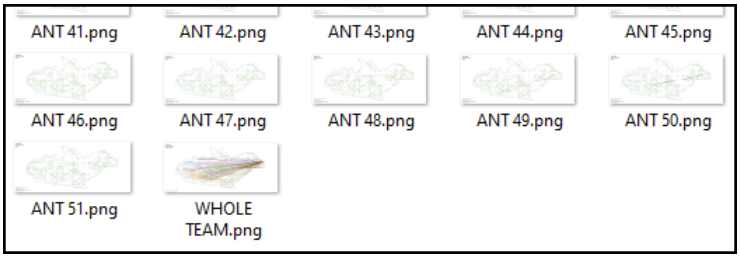


Figura 21 Últimos arquivos da pasta PATHS\GRASS\OUTSOURCED WORKER. (Fonte: Elaborado pelos autores)

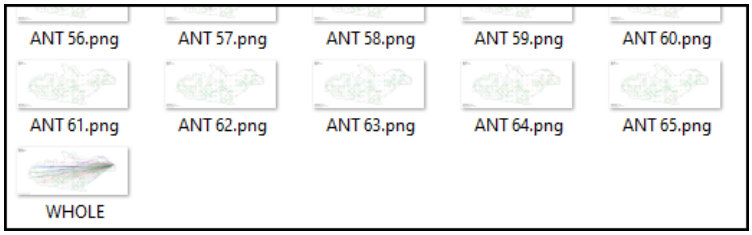


Figura 22 Últimos arquivos da pasta PATHS\TREES. (Fonte: Elaborado pelos autores)

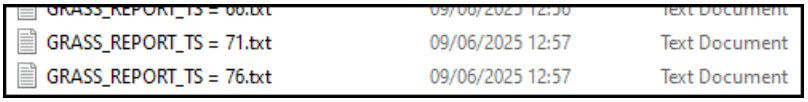


Figura 23 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\GRASS\PRISON SYSTEM WORKER\INITIAL SEARCH. (Fonte: Elaborado pelos autores)

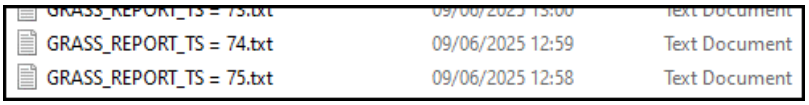


Figura 24 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\GRASS\PRISON SYSTEM WORKER\REFINED SEARCH. (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 25 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\GRASS\OUTSOURCED WORKER\INITIAL SEARCH. (Fonte: Elaborado pelos autores)



Figura 26 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\GRASS\OUTSOURCED WORKER\REFINED SEARCH (Fonte: Elaborado pelos autores)

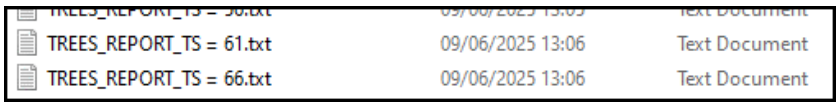


Figura 27 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\TREES\INITIAL SEARCH. (Fonte: Elaborado pelos autores)

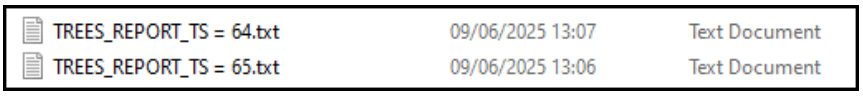
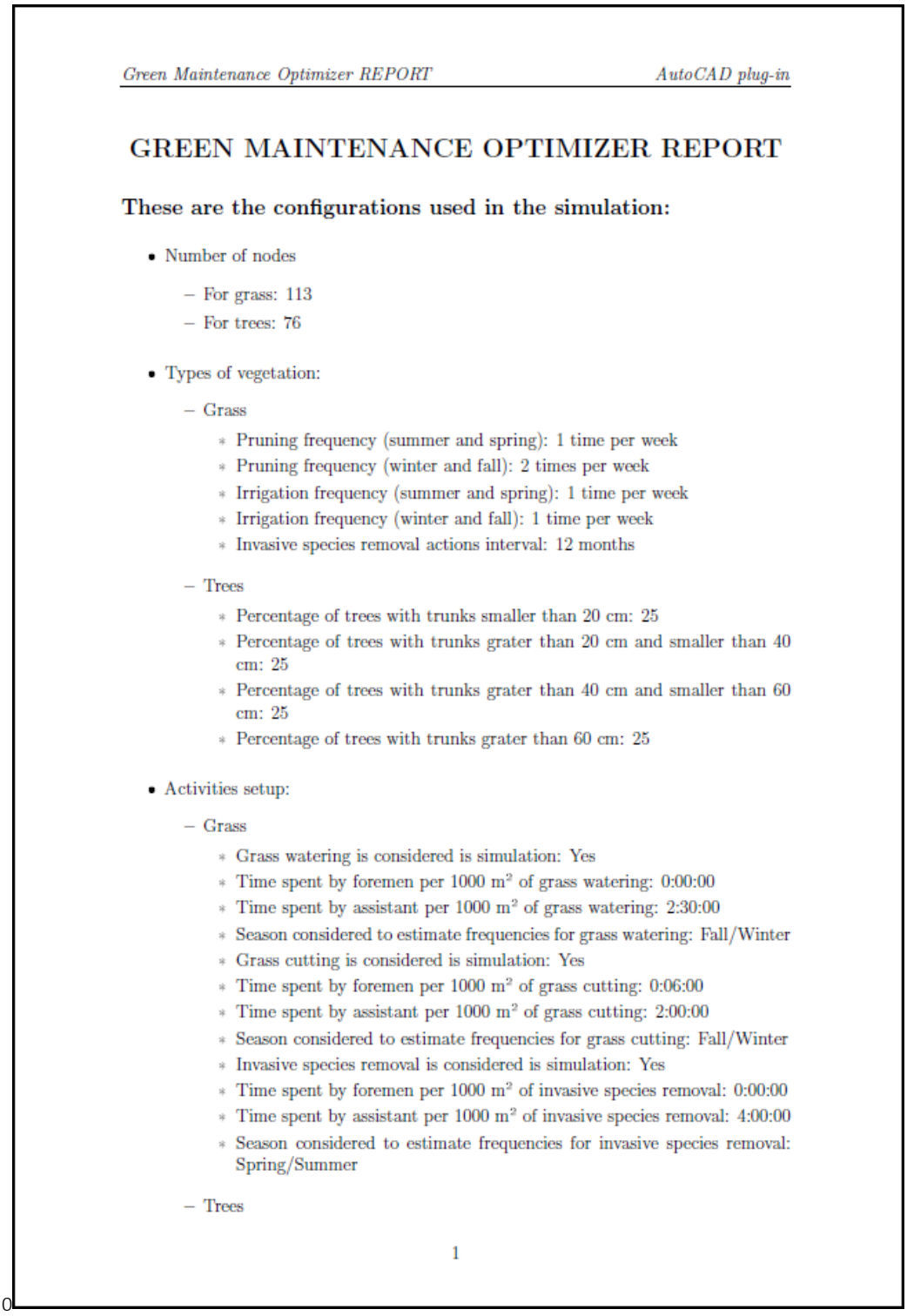


Figura 28 Últimos arquivos da pasta SIMULATION STEPS\TREES\REFINED SEARCH. (Fonte: Elaborado pelos autores)

O arquivo REPORT.txt tem basicamente o mesmo conteúdo da janela *Result*, mas formatado como um relatório que pode ser facilmente anexado a um processo licitatório, por exemplo, necessitando para isso apenas ser traduzido para o português, já que todo o programa foi desenvolvido em inglês. A Figura 29 mostra a primeira página do relatório, e a Figura 30 mostra como o resultado é apresentado.



Green Maintenance Optimizer REPORT *AutoCAD plug-in*

GREEN MAINTENANCE OPTIMIZER REPORT

These are the configurations used in the simulation:

- Number of nodes
  - For grass: 113
  - For trees: 76
- Types of vegetation:
  - Grass
    - Pruning frequency (summer and spring): 1 time per week
    - Pruning frequency (winter and fall): 2 times per week
    - Irrigation frequency (summer and spring): 1 time per week
    - Irrigation frequency (winter and fall): 1 time per week
    - Invasive species removal actions interval: 12 months
  - Trees
    - Percentage of trees with trunks smaller than 20 cm: 25
    - Percentage of trees with trunks grater than 20 cm and smaller than 40 cm: 25
    - Percentage of trees with trunks grater than 40 cm and smaller than 60 cm: 25
    - Percentage of trees with trunks grater than 60 cm: 25
- Activities setup:
  - Grass
    - Grass watering is considered is simulation: Yes
    - Time spent by foremen per 1000 m^2 of grass watering: 0:00:00
    - Time spent by assistant per 1000 m^2 of grass watering: 2:30:00
    - Season considered to estimate frequencies for grass watering: Fall/Winter
    - Grass cutting is considered is simulation: Yes
    - Time spent by foremen per 1000 m^2 of grass cutting: 0:06:00
    - Time spent by assistant per 1000 m^2 of grass cutting: 2:00:00
    - Season considered to estimate frequencies for grass cutting: Fall/Winter
    - Invasive species removal is considered is simulation: Yes
    - Time spent by foremen per 1000 m^2 of invasive species removal: 0:00:00
    - Time spent by assistant per 1000 m^2 of invasive species removal: 4:00:00
    - Season considered to estimate frequencies for invasive species removal: Spring/Summer
  - Trees

1

Figura 29 Primeira página do relatório gerado pelo *plug-in*. (Fonte: Elaborado pelos autores)

This is the result for the ants' team sizing:

- Considering grass maintenance activities
  - TS = 74 (prison system worker)
  - TS = 51 (outsourced worker)
- Considering trees maintenance activities
  - TS = 65 (outsourced worker)

This is the result for the workers' team sizing:

- Given that each worker has two shifts a day, the optimum labour team size (LTS) will be half (plus one, if the division doesn't result in a whole number) of the sum of the optimum ants teams sizes for grass and trees (considering each worker type). Therefore, the optimum labour size is:
  - LTS = 37 (prison system worker) + 58 (outsourced worker)

Figura 30 Apresentação do resultado da simulação no relatório (para o primeiro cenário simulado). (Fonte: Elaborado pelos autores)

Todas as imagens salvas nas subpastas da pasta PATHS exibem no canto superior esquerdo a especificação sobre tratarem-se de gramados ou árvores, o tipo do trabalhador, e o número da formiga a que dizem respeito. No canto inferior esquerdo, as informações exibidas são as contidas no arquivo TXT referente ao resultado encontrado para o tamanho do time, na parte do arquivo que faz referência ao número da formiga representada na imagem (como exemplificado pela Figura 31 e pela Figura 32).

Ou seja, o arquivo RAR gerado pelo programa oferece um relatório completo e detalhado de todo o processo de dimensionamento realizado, assim como um detalhamento do resultado. No exemplo acima, a Figura 31 mostra o trajeto da formiga 20, e a Figura 32 mostra a parte que se refere à formiga 20 do arquivo GRASS_REPORT_TS = 51.txt, que contém o detalhamento da simulação para o tamanho de time que foi apontado como o resultado do dimensionamento. Pode-se verificar que os dados da imagem e do arquivo são os mesmos.

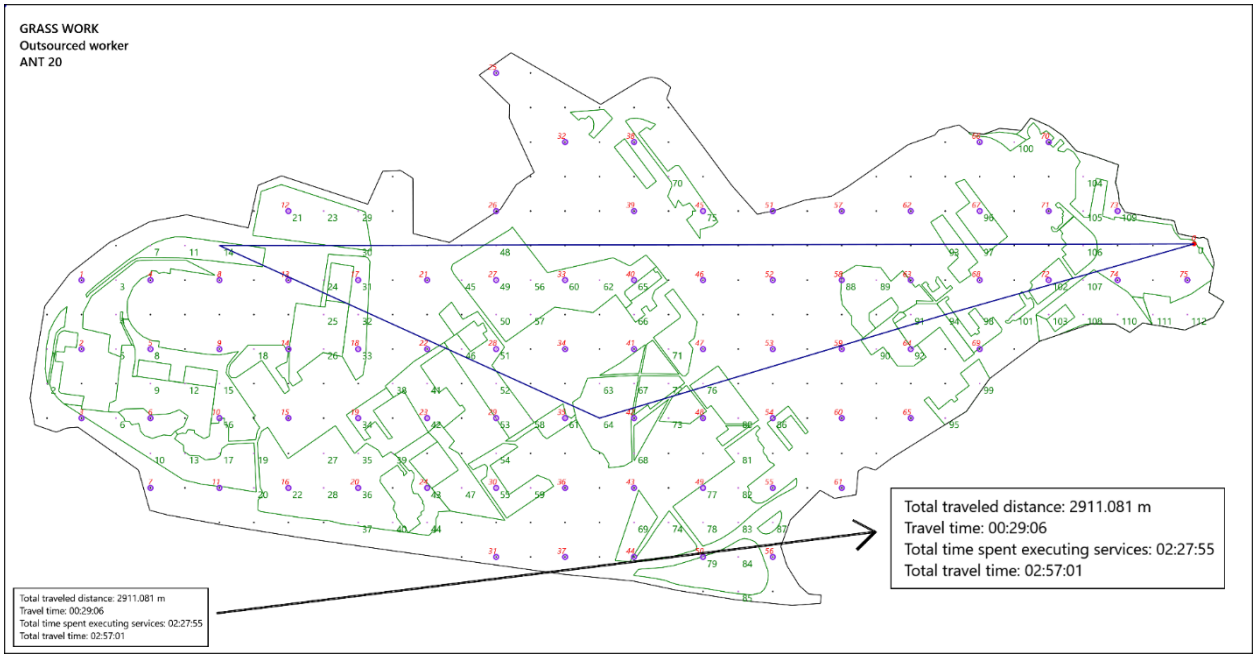


Figura 31 Imagem do arquivo Ant 20.PNG, localizado na pasta PATHS\GRASS\OUTSOURCED WORKER. (Fonte: Elaborado pelos autores)

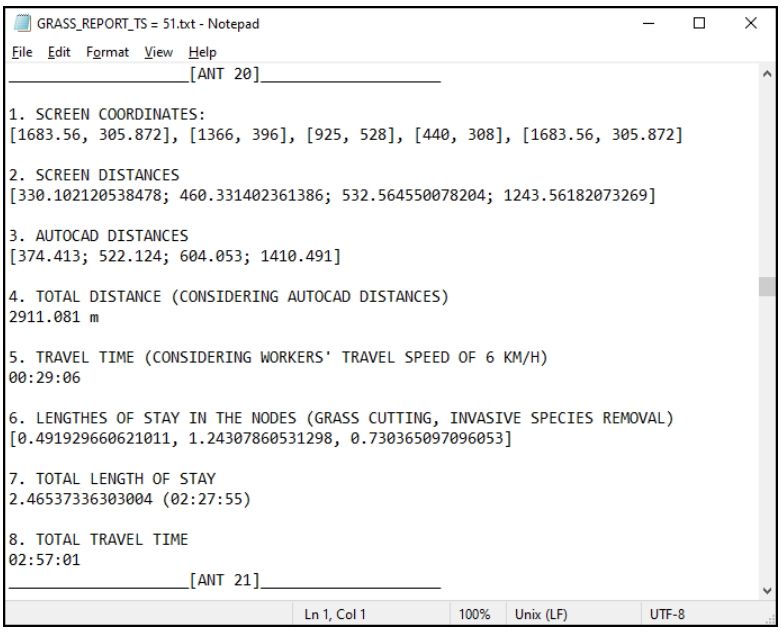


Figura 32 Imagem do arquivo ant 20.PNG, localizado na pasta PATHS\GRASS\OUTSOURCED WORKER. (Fonte: Elaborado pelos autores)

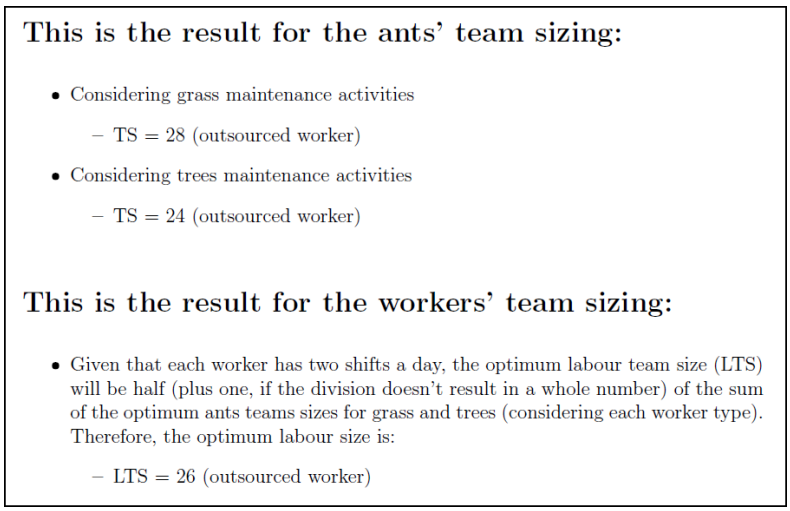


Figura 33 Apresentação do resultado da simulação no relatório (para o segundo cenário simulado). (Fonte: Elaborado pelos autores)

4.4.1 Comparação entre cenários

O resultado mostrado acima foi obtido com as seguintes configurações: serviços de irrigação de gramados, poda de gramados e remoção de espécies invasoras consideradas; trabalhadores do sistema prisional encarregados do serviço de irrigação de gramados; trabalhadores terceirizados responsáveis pelos serviços de poda de gramados, remoção de espécies invasoras e poda em árvores; trabalhadores com duas jornadas de trabalho de 4 horas por dia; sem período de descanso por jornada; serviços de poda e irrigação em gramados realizados uma vez por semana (simulação considerada para estações de verão ou primavera); intervalo entre a realização do serviço de remoção de espécies invasoras de 12 meses (resultando numa frequência de 1 vez/ano); frequência de podas em árvores: 1 vez ao ano; distribuição das árvores por faixa de tamanho de tronco de: 25% (até 20 cm), 25% (entre 20cm e 40 cm), 25% (entre 40 cm e 60 cm) e 25% (acima de 60 cm).

A Figura 33 mostra o resultado da simulação para as seguintes configurações: poda de gramados considerada; irrigação de gramados e remoção de espécies invasoras desconsideradas; trabalhadores terceirizados responsáveis pela poda de gramados; trabalhadores com duas jornadas de trabalho de 4 horas por dia; 30 minutos de período de descanso por jornada de trabalho; serviços de poda em gramados realizados uma vez por mês (0,25 vezes/semana); frequência de podas em árvores: uma vez a cada dois anos; distribuição das árvores por faixa de tamanho de tronco de: 40% (até 20 cm), 25% (entre 20cm e 40 cm), 25% (entre 40 cm e 60 cm) e 10% (acima de 60 cm).

As configurações (relacionadas aos trabalhadores e às atividades de manutenção) descrevem o cenário no qual se deseja realizar a simulação, ou seja, para o qual se deseja dimensionar as equipes de trabalhadores. Cada resultado será válido unicamente para o cenário descrito pelas configurações iniciais que levaram a ele. A comparação entre a Figura 30 e a Figura 33 mostra como, de fato, configurações diferentes geram resultados distintos.

5. CONCLUSÃO

O artigo abordou o desenvolvimento do *plug-in Green Maintenance Optimizer*, para o AutoCAD, que aplica a ACO ao dimensionamento da equipe de manutenção de áreas verdes de *campi* universitários, detalhando sua aplicação ao *campus* de Goiabeiras da UFES. Apesar do *campus* de Goiabeiras ter sido usado como estudo de caso, o *plug-in* pode ser aplicado a qualquer *campus*, de qualquer universidade, independentemente do tamanho e das características,

oferecendo, inclusive, a possibilidade de simular diferentes cenários, mediante a alteração de suas configurações.

A identificação de uma questão que não tem recebido a devida atenção no contexto da administração dos *campi* universitários e sua tradução em termos de uma instância do MTSP constitui em si uma contribuição, principalmente ao definir um modelo matemático que:

- estabeleceu os parâmetros da relação entre formigas e turnos de trabalho dos trabalhadores;
- representou as áreas de gramado como vértices, através de uma grade de pontos em seu interior, com pesos atribuídos, calculados a partir das configurações das atividades e das propriedades de cada área;
- estabeleceu que o peso de cada ponto de grade seria convertido em custo de permanência, adicionado ao tempo de percurso da formiga que passasse pelo respectivo vértice;
- representou as árvores como vértices, através de uma grade de pontos espalhados pelo *campus*, com pesos atribuídos;
- atribuiu cada árvore ao ponto de grade mais próximo, tal que cada ponto de grade passou a ter o peso do número de árvores atribuídas a ele;
- definiu que cada unidade real de árvore seria representada por uma unidade teórica, que teria sua altura dividida de acordo com a distribuição percentual das árvores por faixa de tamanho médio de tronco (simplificando a representação de milhares de árvores);
- definiu que em cada unidade teórica de árvore o tempo de execução do serviço de poda seria ponderado de acordo com a distribuição percentual do seu tronco por faixa de tamanho;
- definiu que para as árvores o custo de permanência de cada ponto de grade, adicionado ao tempo de trajeto da formiga que passasse pelo respectivo vértice, seria o produto do tempo de execução do serviço de poda numa árvore teórica e do número de árvores atribuídas ao ponto.

A forma como o problema proposto foi abordado computacionalmente constitui um avanço em relação a como traduzir um problema real em dados tratáveis computacionalmente. A abordagem está limitada, em grande parte, à natureza do problema, mas pode ser adaptada e expandida para outras áreas da arquitetura, ou da logística; também pode ser enriquecida ou aprimorada em pesquisas futuras.

O programa desenvolvido nesta pesquisa está disponível em https://github.com/andrebarcellosferreira/grass-maintenance-optimizer/. No link estão disponíveis: a pasta que contém todos os arquivos da aplicação, incluindo todos os códigos (nas linguagens C#, Python e Latex); a versão compilada, em formato DLL, que pode ser configurada para ser aberta automaticamente pelo AutoCAD 2023; e um detalhamento dos requisitos computacionais para que o *plug-in* funcione corretamente.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO NACIONAL GRAMA LEGAL. Guia: implantação e manejo de gramados na jardinagem. Piracicaba: [s. n.], 2023. 17 p.
2. BARBOSA, D.; SILVA JÚNIOR, C.; KASHIWABARA, A. Aplicação da otimização por colônia de formigas ao problema de múltiplos caixeiros viajantes no atendimento de ordens de serviço nas empresas de distribuição de energia elétrica. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON INFORMATION SYSTEM, 11., 2015, Goiânia. Anais [...]. Goiânia: [s. n.], 2015. p. 23-30.
3. BECKER, Leonardo Ranft. RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR OBRIGATÓRIO SUPERVISIONADO: green grass, o tapete de grama. Porto Alegre: [s. n.], 2012. 45 p.
4. BENI, G.; WANG, J. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems. In: NATO ADVANCED WORKSHOP ON ROBOTS AND BIOLOGICAL SYSTEMS, 1., 1989, Toscana, Itália. Proceedings [...]. Heidelberg: Springer, 1993. p. 703-712.
5. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de custos rodoviários: composições de custos unitários de referência - serviços de conservação rodoviária. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2003. 224 p.
6. DORIGO, Marco. Optimization, learning and natural algorithms. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia de Informação) – Politecnico de Milão, Milão, 1992.
7. EMBRAPA. Estratégias para adequação ambiental de propriedades rurais: implantação e manutenção. Araputanga: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. 94 slides, color.
8. GIACOIA NETO, José. Formas práticas de manejo da irrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE GRAMADOS, 2., 2004, Botucatu. Anais... Botucatu: [S.N.], 2004. p. 1-17.
9. GIULIETTI, Ana Maria. Guia das Espécies Invasoras e outras que requerem manejo e controle no S11D, Floresta Nacional de Carajás, Pará. [s. l.]: Instituto Tecnológico Vale, 2018. 160 p.
10. KELLER, E..; SEGEL, L. Initiation of slime mold aggregation viewed as an instability. Journal Of Theoretical Biology, [s. l], v. 26, n. 3, p. 399-415, mar. 1970.
11. MENEZES, Emerson Goulart. Poda em oliveiras – princípios básicos. Revista Azeites & Olivais, 2021.
12. SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Cadernos técnicos de composições para paisagismo. [s. l.], 2023, 73p.
13. TURING, Alan. The chemical basis of morphogenesis. Philosophical Transactions of The Royal Society B. [s. l.]: [s. n.], vol. 237, n. 641, p. 37-72, 1952.
14. VENNER, Marie. Control of invasive species. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 2006.