



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,
ADMINISTRAÇÃO E ECONOMIA - DEPRO**



**CRIAÇÃO DE UM PROCESSO PARA ELABORAÇÃO DE
MATERIAL DIDÁTICO COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE
HEURÍSTICAS EM PESQUISA OPERACIONAL**

VINÍCIUS ROSSI OLIVEIRA

Ouro Preto – MG

2017

VINÍCIUS ROSSI OLIVEIRA

viniciusrossitzl@outlook.com

**CRIAÇÃO DE UM PROCESSO PARA ELABORAÇÃO DE
MATERIAL DIDÁTICO COMPUTACIONAL PARA ENSINO
DE HEURÍSTICAS EM PESQUISA OPERACIONAL**

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de graduado em Engenharia de Produção.

Orientador: Profº André Luís Silva

Ouro Preto – MG

2017

Folha de Rosto (verso) – Ficha catalográfica

Deverá ser elaborada pelo profissional bibliotecário de sua Unidade ou da Biblioteca Central, objetivando a padronização das entradas de autor, orientador e definição dos cabeçalhos de assunto à partir de índices de assuntos reconhecidos internacionalmente.

Oliveira, Vinícius R. Criação de um processo para elaboração de material didático computacional para ensino de heurísticas em Pesquisa Operacional. 2017 44 páginas.

Orientador: Prof^o André Luís Silva.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia.

1. Criação de processo. 2. Material didático. 3. Vídeo. 4. Heurística. 5. Colônia de Formigas. 6. Caixeiro Viajante.

I. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia.

VINÍCIUS ROSSI OLIVEIRA

**CRIAÇÃO DE UM PROCESSO PARA ELABORAÇÃO DE
MATERIAL DIDÁTICO COMPUTACIONAL PARA O
ENSINO DE HEURÍSTICAS EM PESQUISA
OPERACIONAL**

Monografia julgada e aprovada em 12 de Abril de 2017 como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro de Produção no curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto.

BANCA EXAMINADORA

Profº. André Luís Silva

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador

Profº. Marco Antonio Moreira de Carvalho

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

Profº. Magno Silvério Campos

Universidade Federal de Ouro Preto

Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos professores André Luís Silva, Marco Antônio Moreira de Carvalho e ao aluno Daniel Moraes Falcão, membros da equipe envolvida na realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários do DEPRO, em especial aos professores Cristiano e Davi pelas ideias e ensinamentos.

Aos meus amigos da UFOP, da Engenharia de Produção e da República Aquarius pelo companheirismo.

Às empresas Romano Jeans, Fundação Gorceix e Cooperouro pelas oportunidades de estágio durante minha graduação.

À toda minha família, em especial minha mãe Glória, que sempre acreditou na minha conquista e não mediu esforços para que isso acontecesse.

À Letícia por seu apoio, amizade e amor.

RESUMO

Oliveira, Vinícius R. **Criação de Processo para elaboração de material didático computacional para o ensino de heurística em Pesquisa Operacional**. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Ouro Preto.

Atualmente, devido aos grandes avanços tecnológicos, há uma grande variedade de recursos computacionais que podem ser aplicados à diferentes situações. Este trabalho tem como objetivo a utilização deste tipo de recurso para a criação de um processo para a elaboração de material didático. A área escolhida para aplicação do trabalho foi a heurística, subárea da Pesquisa Operacional. Foram realizados estudos e pesquisas sobre vários métodos e suas aplicações, na busca por uma boa situação prática a ser explorada, optando-se pela heurística de Colônia de Formigas aplicada ao conhecido problema do Caixeiro Viajante. A didática utilizada foi um vídeo composto de ilustrações, cálculos, áudios e músicas editados de forma sincronizada e com explicação detalhada do problema tratado. Como resultado do trabalho proposto, foi obtido um instrumento didático diferenciado e seu processo de criação e desenvolvimento. Por fim, foram feitas conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

Palavras-chaves: Criação de Processo, Material didático, Vídeo, Heurística, Colônia de Formigas, Problema do Caixeiro Viajante.

ABSTRACT

Oliveira, Vinícius R. **Creation of a process for the elaboration of computational didactic material for the teaching of heuristics in Operational Research.** 2017. Course Work Conclusion (Graduate in Production Engineering). Federal University of Ouro Preto.

Currently, due to the great technological advances, there is a great variety of computational resources that can be applied to the different situations. This work aims to use this type of resources to create a process for the elaboration of didactic material. The area chosen for the application of the work was the heuristic methods, subarea of the Operational Research. Studies and researches about various methods and their applications have been carried out, in the search for a good practical situation to be explored, opting for the heuristic of Colony of Ants applied to the well-known Traveling Salesman Problem. The didactics used was a video composed of illustrations, calculations, audios and songs edited in synchronized form and with detailed explanation of the problem treated. As a result of the proposed work, it was obtained a differentiated didactic instrument and its creation and development processes. Finally, conclusions and recommendations for future works were made.

Keywords: Creation of Process, Didactic Material, Video, Heuristics, Ant Colony, Traveling Salesman Problem.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - <i>Trabalhos publicados sobre Ant Colony Optimization entre 1995 e 2016.....</i>	20
Gráfico 2 - <i>Trabalhos publicados sobre Traveling Salesman Problem entre as décadas de 1960 e 2010.....</i>	21
Gráfico 3 - <i>Trabalhos publicados sobre Ant Colony Optimization Traveling Salesman Problem entre 1995 e 2016.....</i>	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Estrutura de madeira construída para fixar a Câmera.....</i>	29
Figura 2 - <i>Ambiente de gravação do vídeo.....</i>	29
Figura 3 - <i>Diagrama de grafos das distância entre as cidades.....</i>	31
Figura 4 - <i>Foto de parte do vídeo onde é apresentado o italiano Marco Dorigo.....</i>	36
Figura 5 - <i>Foto de parte do vídeo onde é apresentado PCV.....</i>	37
Figura 6 - <i>Screenshot da edição do vídeo.....</i>	38
Figura 7 - <i>Equipe trabalhando na produção do vídeo.....</i>	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - <i>Probabilidades da primeira iteração</i>	33
Tabela 2 - <i>Rotas e distâncias da primeira iteração</i>	34
Tabela 3 - <i>Atualização do feromônio das rotas da primeira iteração</i>	34
Tabela 4 - <i>Probabilidades da segunda iteração</i>	35
Tabela 5 - <i>Rotas e distâncias da sexta iteração</i>	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PO - Pesquisa Operacional

CF - Colônia de Formigas

PCV - Problema do Caixeiro Viajante

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO	Erro! Indicador não definido.3
1.1 Formulação do Problema	Erro! Indicador não definido.3
1.2 Justificativa do Trabalho	Erro! Indicador não definido.5
1.3 Objetivo	Erro! Indicador não definido.6
1.3.1 Objetivo geral	Erro! Indicador não definido.6
1.3.2 Objetivos específicos	Erro! Indicador não definido.6
1.4 Estrutura do Trabalho	17
2. HEURÍSTICA COLÔNIA DE FORMIGAS APLICADA AO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE	Erro! Indicador não definido.8
2.1 Heurística de Colônia de formigas	Erro! Indicador não definido.8
2.1.1 Definições	Erro! Indicador não definido.8
2.1.2 Evolução histórica da heurística	Erro! Indicador não definido.9
2.2 O Problema do Caixeiro Viajante	20
2.3 Heurística Colônia de Formigas aplicada ao Problema do Caixeiro Viajante	22
3. CRIAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO COMPUTACIONAL	24
4. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO VÍDEO	Erro! Indicador não definido.7
4.1 Definição do tipo de material a ser criado	27
4.2 Seleção de recursos	28
4.3 Definição do conteúdo técnico do vídeo	29
4.4 Desenvolvimento do conteúdo técnico do vídeo	30
4.5 Criação do roteiro do vídeo	36
4.6 Produção do vídeo	37
4.7 Análise de resultados	39
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	40

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS42

1 INTRODUÇÃO AO ESTUDO

Este trabalho tem como objetivo a criação de um processo para o desenvolvimento de material didático computacional diferenciado. Optou-se por utilizar como instrumento didático a ser explorado a criação, publicação e divulgação de um vídeo na internet. Como conteúdo deste vídeo optou-se por trabalhar com métodos heurísticos, uma importante subárea da Pesquisa Operacional, que se faz presente em muitos cursos de graduação e pós graduação.

Embora o objetivo principal do trabalho tenha sido a criação do processo, conseqüentemente, em paralelo a este, obteve-se também um produto, um vídeo didático que se apresenta como amostra do processo criado. Neste capítulo é feita uma introdução do tema abordado dividida em três tópicos. O primeiro apresenta a formulação do problema, onde são mostradas algumas definições sobre os assuntos abordados e se define a questão problema deste trabalho. No segundo são apresentadas as justificativas para sua realização e por último, a definição dos objetivos gerais e específicos.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A Pesquisa Operacional pode ser definida de acordo com Dávalos (2010) como:

Uma ciência aplicada, cujo objetivo consiste na otimização de processos via métodos e modelos matemáticos. Estes modelos, normalmente solucionados com auxílio de computadores, permitem a melhoria do desempenho em diferentes tipos de organizações.

Esta definição é ratificada em Silva et al. (2010) que apresenta a Pesquisa Operacional como sendo “um método científico de tomada de decisões” e que, de forma geral, “consiste na descrição de um sistema organizado com auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema”.

Em alguns trabalhos como Winston (2004), a Pesquisa Operacional é dividida em duas categorias: métodos exatos e métodos heurísticos. Os métodos exatos geram uma

solução ótima para o problema. Este, aqui citado de forma análoga às palavras “sistema” e “processo” escritas nos parágrafos anteriores, pode ser definido no âmbito de pesquisa operacional como uma determinada situação que requer solução voltada para a otimização.

Solução ótima trata-se da melhor solução possível que atende à um objetivo e suas restrições. Essa é definida em Winston (2004) como a melhor dentre um subconjunto de todas as soluções possíveis. Porém, há alguns tipos de problemas que tornam impraticável sua busca, devido à complexidade e ao elevado tempo de processamento. Para esses, pode-se adotar uma solução através de um método heurístico.

Enquanto nos métodos exatos se busca uma solução ótima, nos métodos heurísticos se busca uma solução ou um conjunto de soluções viáveis e qualificadas em um tempo de processamento razoável. Assim sendo, pode-se considerar como parâmetros de avaliação da qualidade de uma heurística o tempo necessário para se encontrar uma solução razoável e quão próximo seu resultado está de um valor ótimo, quando comparado com limites inferiores e superiores.

A área de Pesquisa Operacional tem um grande destaque na grade curricular dos cursos de Engenharia de Produção, mas também, em algumas universidades se faz presente em outros cursos de graduação como por exemplo outras engenharias, Computação, Administração e Economia. Diante deste cenário, se torna válido analisar diferentes possibilidades e métodos que possam ser utilizados para lecionar disciplinas relacionadas a esta importante área de estudo, em especial a parte voltada para heurística, que é menos explorada.

Atualmente, devido a velocidade de transmissão de informações possibilitada pelos avanços tecnológicos na área da informática e eletrônica, os métodos didáticos não se restringem às salas de aula, bibliotecas e laboratórios. Há várias outras possibilidades a serem exploradas, como a utilização de vídeos, áudios e animações. A internet abriu espaço para que, de maneira fácil, todos possam postar, discutir e compartilhar suas ideias. Isso possui grande utilidade na elaboração de uma metodologia para lecionar heurística aplicados à Pesquisa Operacional.

Diante do contexto, a questão trabalhada nesta monografia pode ser assim feita: Como criar material didático computacional destinado ao ensino de heurística na disciplina de Pesquisa Operacional?

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A internet e as redes sociais estão cada vez mais introduzidas na sociedade atual. Crianças, ainda muito novas, aprendem a navegar na internet, manipular *softwares*, ter afinidade com aplicativos e dispositivos eletrônicos capazes de transmitir informações. Tendo em vista as vantagens deste cenário, é notável que se pode explorar essa situação para criar novos materiais educacionais.

Optou-se por trabalhar com educação devido à grande importância desta na formação do indivíduo, e no quanto pode ser realizado em relação a melhora dos materiais didáticos. Atualmente, estes não se restringem às salas de aulas, livros e laboratórios. Há muitas maneiras diferenciadas de se lecionar e que também são eficazes na busca pela aprendizagem, como textos digitais, vídeos, áudios e aplicativos.

A área escolhida para a aplicação aqui tratada foi o ensino superior. Isso se deve ao fato de sua importância na sociedade atual, pois este abre inúmeras oportunidades no mercado de trabalho, além de incentivar o desenvolvimento cultural e científico. Embora, o escopo do trabalho seja o ensino superior, a abordagem pode ser aplicada a um público maior, que é acessível.

Optou-se como área do ensino superior a ser explorada neste trabalho a Pesquisa Operacional. Isto se justifica por sua importância e abrangência. Em muitas universidades, se faz presente na grade curricular cursos como Engenharia de Produção, Computação, Economia e Administração. Destaca-se também por suas inúmeras aplicações como nos setores de logística, finanças e computação, o que acaba acarretando uma grande demanda por material didático qualificado.

Como subárea da Pesquisa Operacional, optou-se pelos métodos heurísticos. Esta escolha se justifica por ser uma área de grande aplicabilidade da Pesquisa Operacional e ter, em muitas situações, aplicabilidade maior do que os métodos exatos, quando se leva em consideração o tempo de processamento na busca de uma solução viável. Sendo assim, há uma grande quantidade de recursos didáticos diferenciados disponíveis que não são tão explorados para ensino desta área.

A subárea de estudos de métodos heurísticos em Pesquisa Operacional apresenta inúmeros métodos de resolução de problemas. Optou-se por trabalhar com a heurística de

Colônia de Formigas (CF) pela grande quantidade de aplicações em problemas do cotidiano, especialmente o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Este se trata de uma problema de roteamento clássico da Pesquisa Operacional. Apesar de este trabalho fixar o escopo em CF aplicado ao PCV, a abordagem serve para qualquer método ou problema.

A escolha pelo PCV como alvo de aplicação da heurística se justifica por três razões. Primeiro por ser um problema de difícil solução e que se encontra muito presente no cotidiano em áreas como logística e transporte de empresas de variados ramos. Em segundo lugar, por ser um dos problemas mais estudados em otimização, com vasta literatura e que dá origem a diversos outros problemas. Em terceiro lugar pelo fato de que vários estudos na literatura comprovam a qualidade dessa heurística na busca por uma boa solução em tempo de processamento razoável para esse problema.

Optou-se como recurso para a aplicação de uma didática complementar a idealização, criação e disponibilização de vídeos na internet. Isto se justifica pela afinidade que a maioria das pessoas tem atualmente com este recurso e pela facilidade de acesso tanto para sua busca, quanto para sua disponibilização na rede. Para Moran (1995), o vídeo, na cabeça dos alunos, significa descanso e não aula, o que modifica a postura, as expectativas em relação ao seu uso.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral a criação de um processo de desenvolvimento de material didático computacional para o ensino de métodos heurísticos no contexto de Pesquisa Operacional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão de literatura sobre a heurística de “Colônia de Formigas”;
- Realizar uma revisão de literatura sobre o problema do “Caixeiro Viajante”;
- Realizar uma revisão de literatura sobre materiais didáticos;
- Especificar dos passos para a criação do material;

- Editar do roteiro para a construção do material;
- Selecionar os instrumentos para a filmagem e gravação;
- Sincronizar imagem, vídeo e áudio;
- Publicar o material na internet.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos, onde no primeiro capítulo é apresentado a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica dos conceitos e teorias à respeito heurística Colônia de Formigas e do problema do Caixeiro Viajante. Estes são abordados a princípio de forma separada e posteriormente de forma relacionada.

O terceiro capítulo trata-se de uma revisão de literatura sobre materiais didáticos e recursos computacionais. São apresentadas algumas definições e classificações sobre materiais didáticos e posteriormente fala-se sobre a utilização de recursos computacionais para o desenvolvimento de tais materiais.

O quarto capítulo trata-se de uma descrição detalhada de todo o processo de criação do material explorado, desde o surgimento da ideia até a publicação e divulgação do produto final. Também é feita uma análise do resultado final do trabalho em questão.

O quinto e último capítulo apresenta as conclusões obtidas em relação ao trabalho realizado e as recomendações feitas para trabalhos futuros que abordam temática semelhante.

2 HEURÍSTICA COLÔNIA DE FORMIGAS APLICADA AO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Este capítulo tem como foco o debate e apresentação dos textos publicados em literatura especializada sobre o conteúdo acadêmico abordado no vídeo, no caso, a aplicação da heurística CF ao PCV. Primeiramente, se fará a análise dos temas tratados de forma separada e posteriormente, de forma relacionada.

2.1 HEURÍSTICA DE COLÔNIA DE FORMIGAS

A heurística CF é um algoritmo de otimização que foi desenvolvida com base no comportamento de formigas reais à procura de alimento. Tem como ideia principal a comunicação indireta entre os indivíduos de uma colônia formigas artificiais. Aloise (2002) destaca que esta comunicação é realizada através de trilhas de feromônio deixadas pelas formigas artificiais, de forma análoga ao comportamento de formigas reais.

Ainda em Aloise (2012), as trilhas artificiais de feromônio são definidas como um tipo de informação numérica distribuída, que é modificada pelas formigas a fim de refletirem suas experiências acumuladas enquanto resolvem determinado problema. Assim sendo, pode se concluir que as modificações da quantidade de feromônio nestas trilhas ao longo da busca das formigas por alimento, são responsáveis pela tendência destas à escolher continuamente as rotas melhores.

2.1.1 Definições

A definição de heurística CF foi apresentada por diferentes autores e também em diferentes contextos. Porém, estas definições não mudaram a sua essência. Dois exemplos destas estão listados abaixo:

O algoritmo Colônia de Formigas é uma classe de algoritmos meta-heurísticos construtivos que compartilham a abordagem comum de construir uma solução com base em informações fornecidas por uma heurística construtiva padrão e por soluções previamente construídas. (MANIEZZO, 2002)

O algoritmo Colônia de Formigas pode ser definido como uma metaheurística de base populacional que pode ser usado para encontrar soluções aproximadas para problemas de otimização difíceis. (DORIGO, 2007)

Logo, a partir das três definições, pode-se descrever o CF como uma heurística construtiva e probabilística, baseada no comportamento das formigas que possui grande aplicação na resolução de problemas que envolvem buscas de melhores caminhos. A característica construtiva é definida em Mulatti (2013) como advinda do fato de usar informação heurística típica de algoritmos construtivos. Esta se trata da repetição contínua do processo de otimização, sendo o mesmo influenciado a cada iteração pelas alterações de feromônio nas rotas.

2.1.2 Evolução histórica da heurística

A primeira abordagem de otimização da literatura baseada no comportamento das formigas foi proposta por Dorigo (1991). Nesta ocasião, afirmou-se que seu sistema fornece rápida descoberta de boas soluções, evitando convergência prematura e encontrando soluções aceitáveis nos estágios iniciais do processo de busca.

A heurística CF não se mostrou muito eficaz em sua primeira aplicação, no caso, o PCV em Dorigo (1991). Porém, desde então, foram realizados diversos estudos na busca por melhoramentos e adaptações a diferentes situações, o que o levou posteriormente a diversas aplicações bem sucedidas. Assim sendo, há vários desmembramentos da heurística que, embora sejam distintos, seguem a mesma essência, no caso, a busca por rotas melhores através da liberação e captação de feromônios por formigas artificiais.

Na literatura, é possível notar com clareza o aumento de publicações sobre esse assunto ao longo dos anos. Como exemplo foi realizada uma busca através das palavras “*Ant Colony Optimization*” (Otimização Colônia de Formigas, tradução livre) no *IEEEExplore Digital Library*¹, uma conhecida biblioteca digital com conteúdo técnico e científico. Os trabalhos mais antigos encontradas são do ano de 1995. Tratam-se de apenas dois, Abbatista (1995) e Nagahashi (1995). Entretanto, entre os anos de 1996 e 2016, foram encontrados 5338 resultados. Esta evolução pode ser observado do Gráfico 1.

¹ Busca realizada no site ieeexplore.ieee.org, no dia 04/04/17.



Gráfico 1 - Trabalhos publicados sobre Ant Colony Optimization entre 1995 e 2016.

2.2 O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O PCV é, de acordo com Gomes (2008), o problema de um vendedor que deseja visitar um conjunto de cidades, passando exatamente uma vez por cada uma e voltando ao ponto de partida no final do seu percurso. Esse problema está classificado em Cunha (2002) como NP-difícil, o que significa que a dificuldade em sua resolução aumenta exponencialmente em relação ao seu tamanho. Sendo assim, a partir de uma certa perspectiva, se torna muito difícil a busca por soluções ótimas em tempo de processamento razoável.

Apesar da sua definição singela e da simplicidade em sua formulação, o PCV representa um desafio da Pesquisa Operacional. Em Laporte (1992), este é citado como um dos problemas mais estudados em otimização combinatória. Reinelt (1994) afirma que o mesmo é um dos mais proeminentes dentre um amplo conjunto de problemas de otimização combinatória, atraindo pesquisadores de diferentes campos como PO, Matemática, Física, Biologia, Inteligência Artificial, entre outros.

Este grande interesse pelo PCV não se justifica somente pela questão do desempenho computacional. Inúmeras situações reais são modeladas de forma semelhante a sua. Alguns exemplos são destacados em Cunha (2002), como sequenciamento de tarefas em uma máquina, montagem de componentes eletrônicos e problemas de cristalografia. Assim sendo, desde sua primeira abordagem, há uma grande demanda por novos algoritmos de solução.

Devido à sua grande abrangência e complexidade, há diferentes métodos de otimização que podem ser aplicados à sua solução. A partir de uma certa quantidade de cidades, muitos métodos exatos se tornam de difícil aplicação, devido ao seu alto tempo de processamento na busca por soluções ótimas. Assim sendo, nestas situações, métodos heurísticos tendem a ser mais eficazes, pois apesar de nem sempre encontrar soluções ótimas, geram um conjunto de soluções viáveis em tempo aceitável.

Na literatura, podem ser encontrados diversos trabalhos em que o PCV é abordado. Foi realizada uma pesquisa no *IEEEExplore Digital Library* através das palavras *Traveling Salesman Problem*² (Problema do Caixeiro Viajante, tradução livre). Os resultados mais antigos encontrados foram da década de 1960, sendo estes Lin (1965), Raymond (1969), Steiglitz (1969) e Green (1968). Desde então foram encontrados mais 2638 trabalhos entre 1970 e 2016. Esta evolução ao longo das décadas pode ser observada do Gráfico 2:

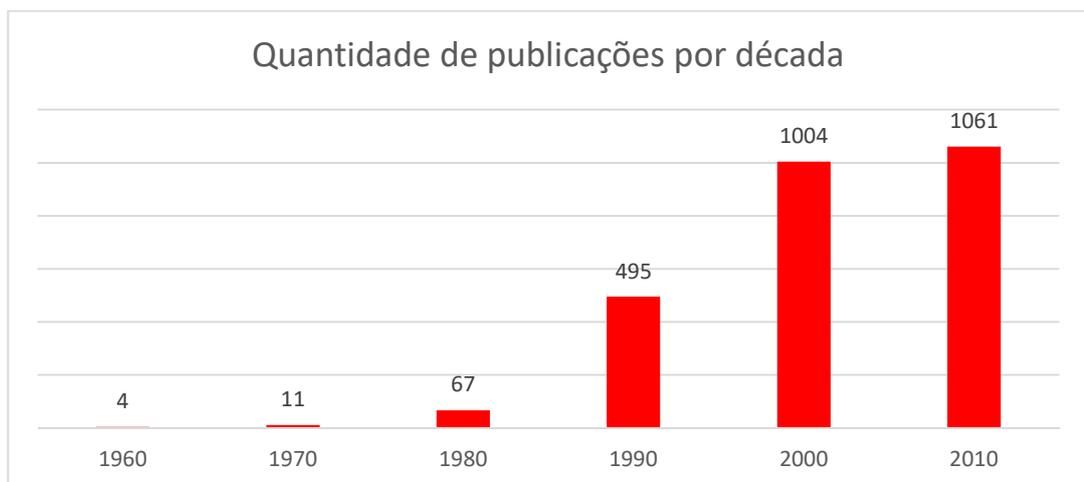


Gráfico 2 - Trabalhos publicados sobre *Traveling Salesman Problem* entre as décadas de 1960 e 2010.

² Busca realizada no site ieeexplore.ieee.org, no dia 04/04/17.

2.3 HEURÍSTICA COLÔNIA DE FORMIGAS APLICADA AO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

Na aplicação de CF ao PCV as formigas artificiais são análogas aos caixeiros. A resolução é baseada em trilhas de feromônios artificiais deixadas pelas formigas quando seguem uma determinada rota e pela disponibilidade de informação heurística. Após um certo número de iterações as formigas se convergem gradativamente para as rotas de maior concentração de feromônios, que tendem a ser as mais curtas.

Na literatura há diversas aplicações de algoritmos CF à diferentes PCVs. A mais antiga pode ser encontrada em Dorigo (1991), através da primeira versão da heurística, conhecida como *Ant System*. A princípio, não se apresentou tão eficaz quando comparada com outros algoritmos daquela época para esta situação. Esta incapacidade inicial foi destacada em Stutzle (2000) como um incentivo para a introdução de melhorias no algoritmo, visando alcançar um desempenho melhor.

Desde sua primeira aplicação ao PCV, vários trabalhos sobre CF podem ser encontrados na literatura ao longo da história com a mesma finalidade. Apesar de todos se basearem na mesma essência, no caso, o comportamento das formigas à procura de alimento, eles se diferem em relação a aspectos específicos dos controles de pesquisa. Foram realizadas várias melhorias e adaptações em relação à *Ant System*, sendo que muitas obtiveram resultados bem satisfatórios.

Foi possível observar um exemplo da evolução histórica de trabalhos relacionados a aplicação da heurística CF ao PCV ao se fazer uma busca no site *IEEEExplore Digital Library*³ através das palavras *Ant Colony Optimization Traveling Salesman Problem* (Otimização Colônia de Formigas Problema do Caixeiro Viajante, tradução livre). Nota-se que o primeiro trabalho encontrado foi Abbattista (1995), o único deste ano. Desde então foram encontrados mais 480 publicações entre 1996 e 2016. Esta evolução ao longo dos anos pode ser observada através do Gráfico 3:

³ Busca realizada no site ieeexplore.ieee.org, no dia 04/04/17.

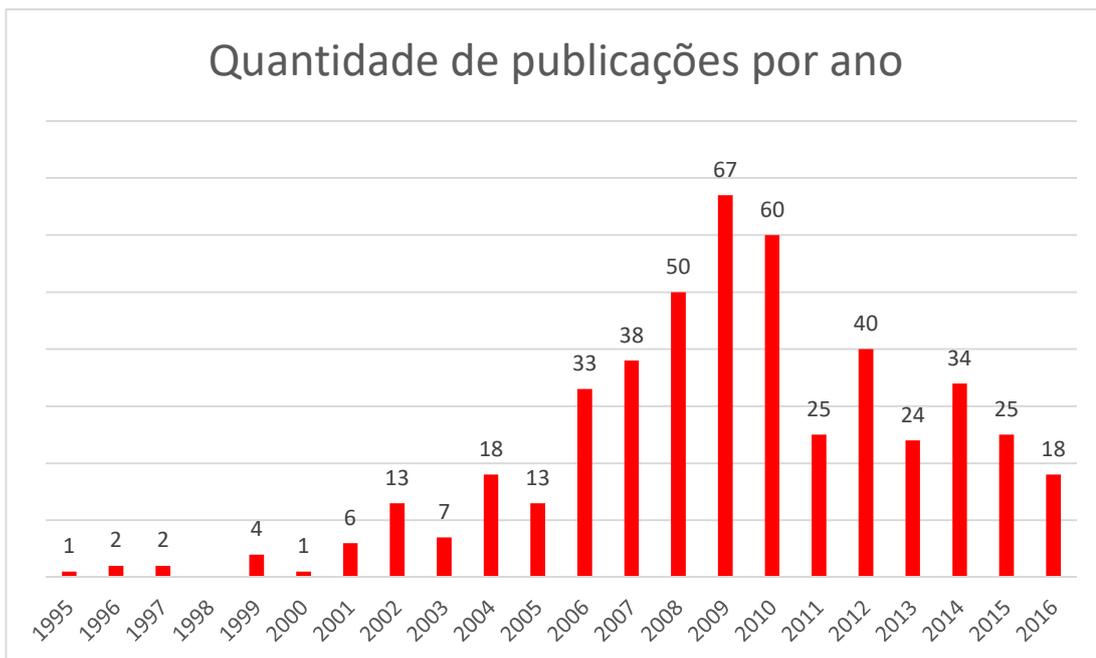


Gráfico 3 - Trabalhos publicados sobre *Ant Colony Optimization Traveling Salesman Problem* entre 1995 e 2016.

3 CRIAÇÃO DE MATERIAL DIDÁTICO COMPUTACIONAL

Este capítulo apresenta uma revisão literária sobre os conceitos de material didático e a utilização de recursos computacionais na educação. Primeiramente são apresentadas algumas definições e classificações de material didático e posteriormente, fala-se sobre as vantagens dos recursos computacionais tanto em âmbito geral quanto didático.

3.1 MATERIAL DIDÁTICO

Existem muitas definições para material didático na literatura, tal como as apresentadas abaixo:

Ambiente ou obra, escrita ou organizada, com a finalidade específica de ser utilizada numa situação didática. (MEKSENAS, 2001)

Todo ou qualquer material que o professor possa utilizar em sala de aula; desde os mais simples como o giz, a lousa, o livro didático, os textos impressos, até os materiais mais sofisticados e modernos. (FISCARELLI, 2007)

Produtos pedagógicos utilizados na educação, e especificamente como o material instrucional que se elabora como finalidade didática. (BANDEIRA, 2009)

Tomando-se como base estas citações, pode-se definir material didático como qualquer método ou instrumento que seja utilizado com o intuito de transmitir informações e conhecimento. Os mesmos podem ser classificados e divididos em diferentes categorias. Como exemplo pode se citar a classificação feita por Bandeira (2009), onde os mesmos são divididos em:

- Materiais impressos: livros, guias e pranchas ilustrativas;
- Materiais audiovisuais: televisões, vídeos e cinemas;
- Novas tecnologias: computadores, *tablets* e *smartphones*.

3.2 RECURSOS COMPUTACIONAIS APLICADOS NA EDUCAÇÃO

Atualmente, as pessoas estão muito familiarizadas com a utilização de recursos computacionais. Como exemplo podem ser citados a facilidade de acesso à internet, a grande diversidade de aplicativos e a velocidade na transmissão de dados. Todos estes avanços tecnológicos diminuem de maneira significativa as limitações relacionadas a espaços físicos. A este respeito Rocha (2003) declara que:

Através da Internet, é possível ignorar o espaço físico, conhecer e conversar com pessoas sem sair de casa, digitar textos com imagens em movimento, inserir sons, ver fotos, desenhos, ao mesmo tempo em que podemos ouvir música, assistir vídeos, fazer compras, estreitar relacionamentos em comunidades virtuais, participar de bate-papos (chats), consultar o extrato bancário, pagar contas, ler as últimas notícias em tempo real, enfim, trabalho e lazer se confundem no *cyberespaço*.

Assim sendo, é possível observar que os novos recursos tecnológicos trazem diversas vantagens para a sociedade atual. Na educação isso não é diferente, pois muito pode ser realizado em relação a criação de novos métodos e a utilização de novos recursos. Bandeira (2009) destaca que as novas mídias representam uma inovação na aquisição, organização e difusão do conhecimento

Apesar deste grande leque de possibilidades disponibilizados pelas novas tecnologias, estes recursos podem ser mais explorados. Em muitas instituições de ensino, a didática ainda se restringe aos métodos convencionais como salas de aula e utilização de livros. Ricardo (2010) destaca que “o conhecimento (principalmente o de ciências) ainda é vivenciado de forma tradicional, ou seja, apenas com a utilização de giz e lousa.”

O ensino através de alguns recursos didáticos computacionais introduz grandes vantagens no cenário educacional. Um bom exemplo disso pode ser a disponibilização de material didático na internet, o que atinge um público significativamente maior, quando comparado a uma sala de aula. Além de constituir material didático complementar aos métodos tradicionais, esses podem ser utilizados em outras circunstâncias, como por exemplo em um sistema de ensino à distância.

Diante desta situação, é de grande utilidade a realização de estudos e pesquisas focados no desenvolvimento de processos para a criação de material didático computacional. Ghirardello (2016) enfatiza em seu trabalho esta questão ao destacar a importância da utilização de novas ferramentas não convencionais para que o conhecimento seja vivenciado.

É válido destacar que a criação e utilização de novos métodos educacionais aqui referidos têm como objetivo a inclusão de novas possibilidades para a educação e não está relacionada com o mérito dos professores. Estes são fundamentais na educação, como destaca Mello (2004), ao dizer que “o professor tem o papel essencial de mediador no ensino, à medida que os alunos precisam de orientações para vivenciar os conteúdos científicos”.

4 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO VÍDEO

Neste capítulo são apresentados os procedimentos empregados na criação do processo de elaboração de material didático proposto. É realizada uma descrição detalhada desde o surgimento da ideia até a conclusão do produto final, mostrando passo a passo cada etapa da execução. Sendo assim, tem-se no final, além da criação de um processo de elaboração de material didático, o material propriamente dito, no caso, o vídeo.

A opção por fazer o vídeo em paralelo com a criação de seu processo de elaboração se deve ao fato de isto possibilitar a visão prática das possíveis falhas nos procedimentos. Assim sendo, criou-se um memorial descritivo, em que são organizadas de maneira cronológica todas as etapas do processo e suas possíveis falhas. Este memorial em questão é o resultado principal do trabalho, no caso, a criação de um processo para a elaboração de um tipo de material didático computacional.

4.1 Definição do tipo de material a ser criado

O trabalho teve início a partir da demanda dentro de uma universidade por material didático complementar para o ensino de Pesquisa Operacional. Optou-se pela utilização de um vídeo disponibilizado na internet como material a ser desenvolvido. Esta escolha se justifica por sua grande utilidade para professores e alunos dentro da universidade e para qualquer estudante que domina a língua portuguesa e tenha interesse nesta área.

Outro ponto considerado na escolha do vídeo foi a facilidade em sua divulgação. Por se tratar de um recurso disponibilizado na web, torna-se fácil o seu acesso e sua publicação. Adicionado a essa vantagem, pode se considerar o fato de que o mesmo pode ser visto, pausado e revisto quantas vezes se julgar necessário, sendo assim mais dinâmico que outros métodos como, por exemplo, uma sala de aula.

Desde o princípio, em paralelo ao desenvolvimento do vídeo, traçou-se também como objetivo a criação de um processo para tal desenvolvimento, pois o mesmo poderia ser utilizado para a criação de outros materiais relacionados. Optou-se por utilizar como recursos audiovisuais no processo de produção do vídeo filmagens verticais sobre uma mesa, utilizando mão e caneta para desenvolver ilustrações e cálculos, editados e sincronizados

com uma narração e uma música de fundo.

4.2 SELEÇÃO DE RECURSOS

Para a execução deste projeto, montou-se uma equipe composta por quatro membros, sendo estes um professor do Departamento de Produção, um professor do Departamento de Computação e dois alunos de graduação de Engenharia de Produção. Realizou-se assim uma seleção de recursos materiais a serem utilizados na produção do vídeo, os quais se encontram listados abaixo:

- Câmera Nikon D3300;
- Microfone condensador Audio Technica AT2020USB;
- Computador MSI GS60 GHOST PRO-064;
- Estrutura de madeira para a câmera;
- Software Audacity - Gravação e edição de áudio;
- Software Vegas Pro 14 - Edição e sincronização de áudios, vídeos e imagens.

Estes equipamentos foram selecionados antes de dar início aos trabalhos práticos. Entretanto, no decorrer do processo de produção se fez necessário a inclusão de outros como canetas, pincéis, impressora, cartolinas, mesas e luminárias.

A Figuras 1 e 2 apresentam a estrutura e o ambiente de trabalho respectivamente:

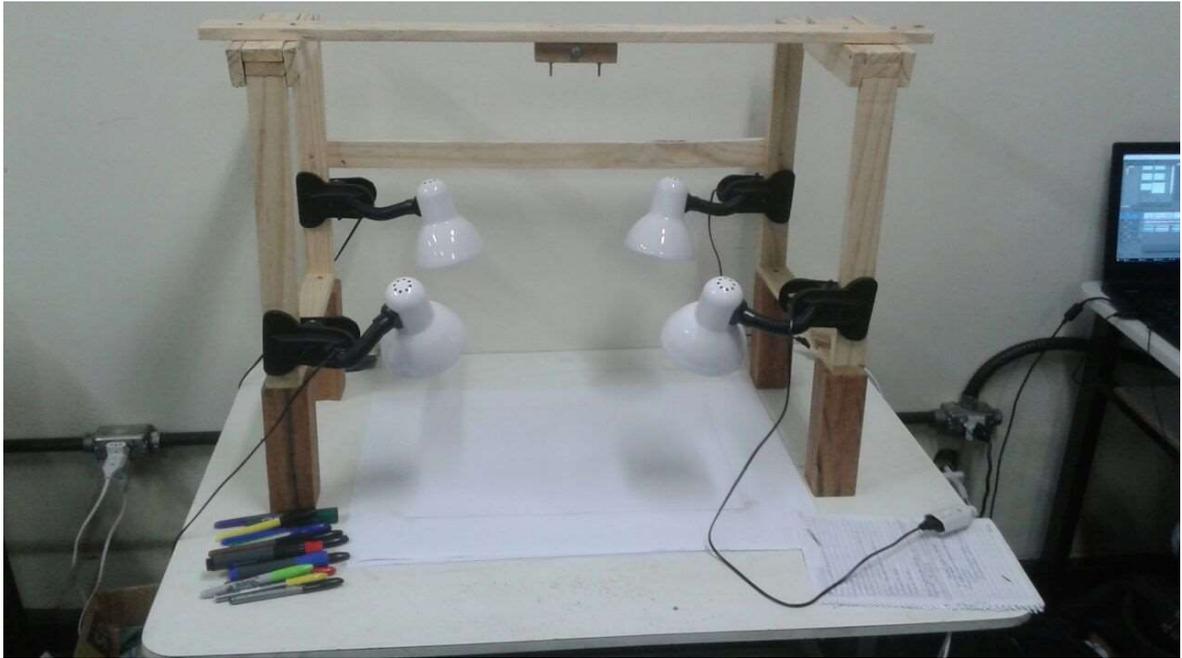


Figura 1 - Estrutura para fixação da câmera.



Figura 2 - Ambiente de trabalho.

4.3 DEFINIÇÃO DO CONTEÚDO TÉCNICO DO VÍDEO

Após optar por PO como área de aplicação, se fez necessária a definição da maneira como este tema seria abordado. Assim sendo, a equipe realizou uma pesquisa na literatura

sobre os vários tópicos relacionados à PO com o objetivo de encontrar uma situação adequada e compatível com este trabalho.

4.3.1 Heurística Colônia de Formigas

Para área de PO a ser tratada no vídeo optou-se pelos métodos heurísticos. Esta escolha se justifica por suas variadas aplicações e sua maior eficiência em relação à muitos métodos exatos em situações onde se torna inviável/custoso a busca por soluções ótimas.

Como o objeto criado foi um vídeo, se fez necessária a definição de como a heurística seria abordada no mesmo. Assim sendo, após pesquisar os variados métodos presentes na literatura, optou-se pela heurística específica CF. Esta escolha se deve ao fato da grande diversidade de materiais encontrados e por se tratar de um método bioinspirado, o que faz com que esta analogia com a natureza torne lúdico o material criado.

4.3.2 O Problema do Caixeiro Viajante

Após a definição da heurística a ser tomada como foco neste trabalho, se fez necessária a escolha de um cenário para sua aplicação. Para tal foi levado em consideração dois fatores: A busca por uma situação presente no cotidiano e a sua eficiência para tal. Assim sendo, optou-se pelo PCV, pois trata-se de um problema clássico de PO que, apesar de possuir solução difícil, tem modelagem simples e é aplicado a diversas situações.

Após a definição do problema, foi realizada uma pesquisa com o intuito de encontrar um formato do PCV em que a heurística CF é eficiente e tenha resolução de tamanho moderado. Nestas condições, seria possível a criação de um vídeo com conteúdo qualificado e fácil compreensão. Assim sendo, optou-se por um PCV com cinco cidades para aplicação do método.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO CONTEÚDO TÉCNICO DO VÍDEO

Após definidas todas as questões em relação a métodos utilizados e suas aplicações, se iniciou o desenvolvimento do conteúdo a ser apresentado. Para a escolha das distâncias entre as cinco cidades, foi realizado um sorteio em que os valores foram determinados de forma aleatória. Esses podem ser observadas no diagrama de grafos da Figura 3.

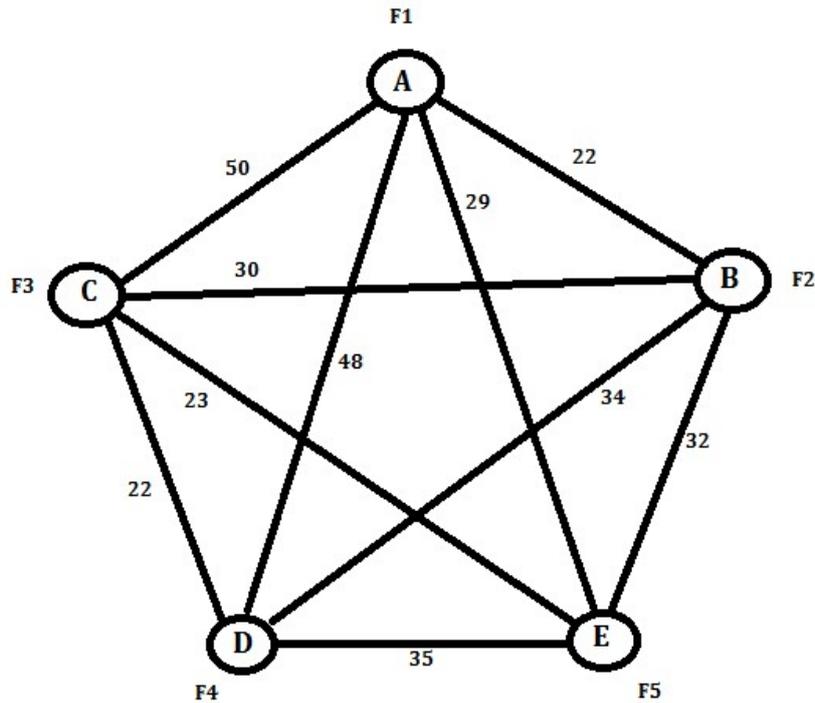


Figura 3 - Diagrama de grafos das distâncias entre os pontos

Visando a melhor compreensão do exercício, optou-se por trabalhar com pontos e formigas em analogia à cidades e caixeiros. Como pode ser observado no diagrama de grafos da Figura 3, os pontos *A*, *B*, *C*, *D*, e *E* contém as formigas *F1*, *F2*, *F3*, *F4* e *F5* respectivamente. A probabilidade da formiga *k* escolher o ponto *y* é influenciada por dois fatores: a distância entre o ponto *x* (ponto de partida) e o ponto *y* (próximo ponto de destino) e a quantidade de feromônio entre estes pontos.

Quanto maior é a distância entre o ponto de partida e o próximo ponto de destino, menor será a probabilidade da formiga assumir este caminho, visto que ela busca sempre o caminho mais curto, o que representa uma relação inversa entre as duas grandezas. Em relação ao feromônio, quanto maior a quantidade existente em uma rota, maior a probabilidade da formiga assumir este caminho, representando uma relação direta. Isso pode ser representado através das equações 4.1, 4.2 e 4.3:

$$p_{xy}^k = \frac{[\tau_{xy}(t)]^\alpha \times [\eta_{xy}(t)]^\beta}{\sum_{l \in N_x^k} [\tau_{xy}(t)]^\alpha \times [\eta_{xy}(t)]^\beta} \quad (4.1)$$

$$\Delta\tau_{xy}^k = \frac{Q}{L_k} \quad (4.2)$$

$$\tau_{xy} = (1 - \sigma) + \sum_{k=a}^m \Delta\tau_{xy}^k \quad (4.3)$$

Onde:

- p_{xy}^k : Probabilidade da formiga k escolher a rota entre os pontos x e y ;
- $\tau_{xy}(t)$: Inverso da distância entre os pontos x e y ;
- $\eta_{xy}(t)$: Quantidade de feromônio entre os pontos x e y ;
- α : Parâmetro de influência da distâncias;
- β : Parâmetro de influência do feromônio;
- t : iteração;
- N_x^k : Vizinhança factível da formiga k .
- $\Delta\tau_{xy}^k$: Feromônio depositado pela formiga k na rota entre os pontos x e y ;
- Q : Constante;
- L_k : Distância total percorrida pela formiga k .
- σ : coeficiente de evaporação do feromônio.

As Equações (4.1), (4.2) e (4.3) representam respectivamente a probabilidade de uma formiga k escolher uma rota entre os pontos x e y , a quantidade de feromônio depositado pela formiga k na rota entre os pontos x e y e a quantidade de feromônio presente na rota entre os pontos x e y após evaporação.

Para efeitos de cálculo, considerou-se os cinco valores de parâmetros ($\eta_{xy}(0)$; α ; β ; Q ; σ) como (0,1; 1; 1; 10; 0,01) respectivamente. Estes valores foram determinados com o objetivo de se apresentar um exercício de tamanho moderado e com boa visualização de todos os aspectos da heurística como atualização do feromônio e convergência. Todavia, estes podem/devem ser testados e ajustados, visando uma melhor performance do algoritmo em situações reais.

A partir destes valores e destas equações foi possível realizar os cálculos de probabilidades referentes à primeira iteração, e posteriormente construir a Tabela 1. Esta foi dividida em sete colunas, contendo os seguintes conteúdos:

- Primeira coluna: todas as rotas possíveis entre pares de pontos;
- Segunda Coluna: as distâncias referentes a cada rota;
- Terceira coluna: o inverso da distância de cada rota;
- Quarta coluna: o nível de feromônio presente em cada rota;
- Quinta coluna: o produto entre inverso da distância e nível de feromônio de cada rota;

- Sexta coluna: probabilidade de uma formiga que está em um ponto x ir para um ponto y ;
- Sétima coluna: Probabilidade da coluna 6 expressa em porcentagem.

Tabela 1 - Tabela de probabilidades referentes à primeira iteração.

Rotas	Distância	$\tau(xy)$	$\eta(xy)$	$\tau(xy)*\eta(xy)$	$P(xy)$	$P(xy) \%$
A-B	22	0,045	0,1	0,005	0,416	41,6%
A-C	50	0,02	0,1	0,002	0,167	16,7%
A-D	48	0,021	0,1	0,002	0,167	16,7%
A-E	29	0,034	0,1	0,003	0,25	25,0%
B-A	22	0,045	0,1	0,005	0,358	35,8%
B-C	30	0,033	0,1	0,003	0,214	21,4%
B-D	34	0,029	0,1	0,003	0,214	21,4%
B-E	32	0,031	0,1	0,003	0,214	21,4%
C-A	50	0,02	0,1	0,002	0,143	14,3%
C-B	30	0,033	0,1	0,003	0,214	21,4%
C-D	22	0,045	0,1	0,005	0,357	35,7%
C-E	23	0,043	0,1	0,004	0,286	28,6%
D-A	48	0,021	0,1	0,002	0,153	15,3%
D-B	34	0,029	0,1	0,003	0,231	23,1%
D-C	22	0,045	0,1	0,005	0,385	38,5%
D-E	35	0,029	0,1	0,003	0,231	23,1%
E-A	29	0,034	0,1	0,003	0,231	23,1%
E-B	32	0,031	0,1	0,003	0,231	23,1%
E-C	23	0,043	0,1	0,004	0,307	30,7%
E-D	35	0,029	0,1	0,003	0,231	23,1%

É válido enfatizar que apesar de formiga k ter uma maior probabilidade de escolher uma cidade y como próximo destino, ela não irá necessariamente optar por este caminho. Para determinar estas escolhas, foi utilizado o método de seleção probabilística da roleta. Detalhes do algoritmo da roleta podem ser encontrados em artigos tais como: Gonçalves (2012) e Araki (2010).

Após a aplicação do método da roleta para definir as rotas escolhidas por cada formigas em seus respectivos percursos, foi possível construir a tabela 2, referente a rotas distâncias:

Tabela 2 - Tabela de rotas e distâncias referentes à primeira iteração.

Formigas	Pontos Percorridos						Rota total
F1	A	E	C	D	B	A	130
F2	B	E	C	A	D	B	187
F3	C	D	B	E	A	C	167
F4	D	C	B	A	E	D	138
F5	E	C	A	B	D	E	164

Após definição das rotas e do somatório das distâncias totais percorridas por cada formiga na primeira iteração, foi possível realizar os cálculos de atualização de feromônio. Assim sendo, foi construída a Tabela 3, em que é realizado o cálculo do somatório entre os feromônios depositados pelas formigas na iteração atual adicionado ao feromônio da iteração anterior após evaporação.

Tabela 3 - Tabela de atualização de feromônios.

Rota	(1-σ) * τ(xy)	F1	F2	F3	F4	F5	Total
A-B	0,099	0,077			0,072	0,061	0,309
A-C	0,099		0,054	0,06		0,061	0,274
A-D	0,099		0,054				0,153
A-E	0,099	0,077		0,06	0,072		0,308
B-C	0,099				0,072		0,171
B-D	0,099	0,077	0,054	0,06		0,061	0,351
B-E	0,099		0,054	0,06			0,213
C-D	0,099	0,077		0,06	0,072		0,308
C-E	0,099	0,077	0,054			0,061	0,291
D-E	0,099				0,072	0,061	0,232

A partir desses valores, pôde-se iniciar a próxima iteração. Nesta, diferentemente da anterior, pode ser visto com mais clareza a influência do fator feromônio no cálculo das probabilidades, devido ao fato de que eles não mais possuem o mesmo valor, de 0,1. Essa diferenciação ocorre devido a influência do feromônio depositado nas rotas mais utilizadas pelas formigas na iteração anterior. Segue abaixo a Tabela 4, referente à segunda iteração:

Tabela 4 - Tabela de probabilidades referentes à segunda iteração.

Rotas	Distância	$\tau(xy)$	$\eta(xy)$	$\tau(xy) * \eta(xy)$	P(xy)	P(xy) %
A-B	22	0,045	0,309	0,014	0,437	43,7%
A-C	50	0,02	0,274	0,005	0,156	15,6%
A-D	48	0,021	0,153	0,003	0,094	9,4%
A-E	29	0,034	0,308	0,010	0,313	31,3%
B-A	22	0,045	0,309	0,014	0,379	37,9%
B-C	30	0,033	0,171	0,006	0,162	16,2%
B-D	34	0,029	0,351	0,010	0,270	27,0%
B-E	32	0,031	0,213	0,007	0,189	18,9%
C-A	50	0,02	0,274	0,005	0,132	13,2%
C-B	30	0,033	0,171	0,006	0,158	15,8%
C-D	22	0,045	0,308	0,014	0,368	36,8%
C-E	23	0,043	0,291	0,013	0,342	34,2%
D-A	48	0,021	0,153	0,003	0,088	8,8%
D-B	34	0,029	0,351	0,010	0,294	29,4%
D-C	22	0,045	0,308	0,014	0,412	41,2%
D-E	35	0,029	0,232	0,007	0,206	20,6%
E-A	29	0,034	0,308	0,010	0,271	27,1%
E-B	32	0,031	0,213	0,007	0,189	18,9%
E-C	23	0,043	0,291	0,013	0,351	35,1%
E-D	35	0,029	0,232	0,007	0,189	18,9%

Após seguir o mesmo procedimento e dar sequência aos cálculos, foram realizadas mais 4 iterações, chegando a um total de 6. Na sexta iteração observou-se que todas as formigas estavam realizando a mesma rota, como pode ser observado na tabela 5.

Tabela 5 - Tabela de rotas e distâncias referentes à sexta iteração.

Formigas	Pontos percorridos						Rota total
F1	A	E	C	D	B	A	130
F2	B	A	E	C	D	B	130
F3	C	D	B	A	E	C	130
F4	D	C	E	A	B	D	130
F5	E	C	D	B	A	E	130

Esta situação é típica deste exercício, mas não é o que sempre ocorre, pois, em muitos casos, mesmo após um grande número de iterações as formigas não realizam o mesmo caminho, cabendo ao programador definir o número de iterações que deseja até atingir um resultado satisfatório.

4.5 CRIAÇÃO DO ROTEIRO DO VÍDEO

Após finalizado o desenvolvimento e a resolução do exercício, todo o conteúdo a ser explorado no vídeo em relação OP estava finalizado. Assim sendo, para dar início a produção do vídeo se criou um roteiro. Este foi realizado com uma divisão em quatro partes, no qual cada uma contém uma descrição detalhada do que é filmado e gravado.

A primeira parte aborda o início e a introdução do vídeo. Uma breve apresentação do quanto pode ser explorado através da observação e da busca pela compreensão dos fenômenos da natureza. É apresentado exemplos através de desenhos e ilustrações para auxiliar na apresentação da evolução do homem, desenvolvimento tecnológico e sequências de Fibonacci. E como último exemplo é mostrado como a observação do comportamento das formigas foi importante para a criação de um algoritmo de grande aplicabilidade prática.

Na segunda parte, é feita uma apresentação do criador do algoritmo, o cientista italiano Marco Dorigo, como pode ser visto na Figura 4. Realiza-se uma explicação do algoritmo através de uma ilustração feita a mão, em que são representadas algumas formigas andando em um diagrama de grafos. Posteriormente, é apresentada uma simulação em *stop motion* do comportamento de algumas formigas na busca por alimento.



Figura 4 - Marco Dorigo, criador do algoritmo Colônia de Formigas.

Na terceira parte é apresentado o PCV. Mostra-se como ele surgiu, suas aplicações e limitações. Como nas outras partes, esta também é realizado de forma dinâmica com sincronia entre áudio e vídeo e representação através de desenhos e ilustrações. Uma imagem desta etapa pode ser observada Figura 5.

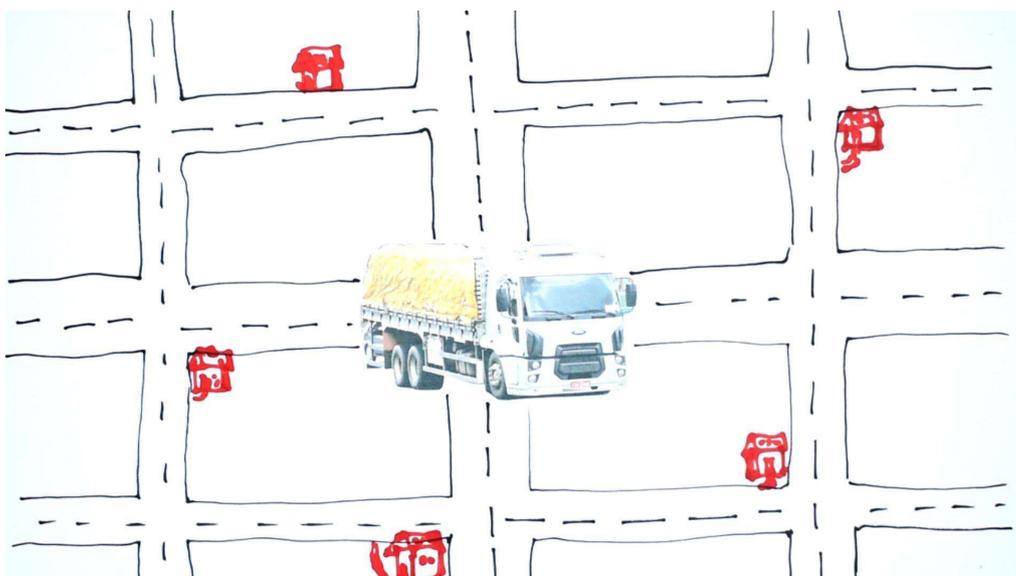


Figura 5 - Ilustração do Problema do Caixeiro Viajante.

Na quarta e última parte, trabalha-se na aplicação do método em si. É mostrado como a heurística de CF pode ser utilizada para resolver o PCV. O exercício modelo é descrito de maneira contínua, passo a passo, com explicação das fórmulas, das tabelas construídas e dos métodos matemáticos utilizados. Fala-se também sobre a questão computacional e os parâmetros de qualidade da heurística apresentada.

4.6 PRODUÇÃO DO VÍDEO

Após a finalização do roteiro, deu-se início ao processo de produção do vídeo. As gravações foram realizadas separadamente entre áudio e vídeo. Foram filmados vários vídeos de curta duração para posteriormente serem editados e associados na composição do vídeo final. Processo semelhante foi realizado com os áudios através do *software* Audacity.

Após terminados, o vídeo e o áudio completos foram editados e sincronizados através do *software* VegasPro 14. Uma imagem deste software é apresentada na Figura 6.

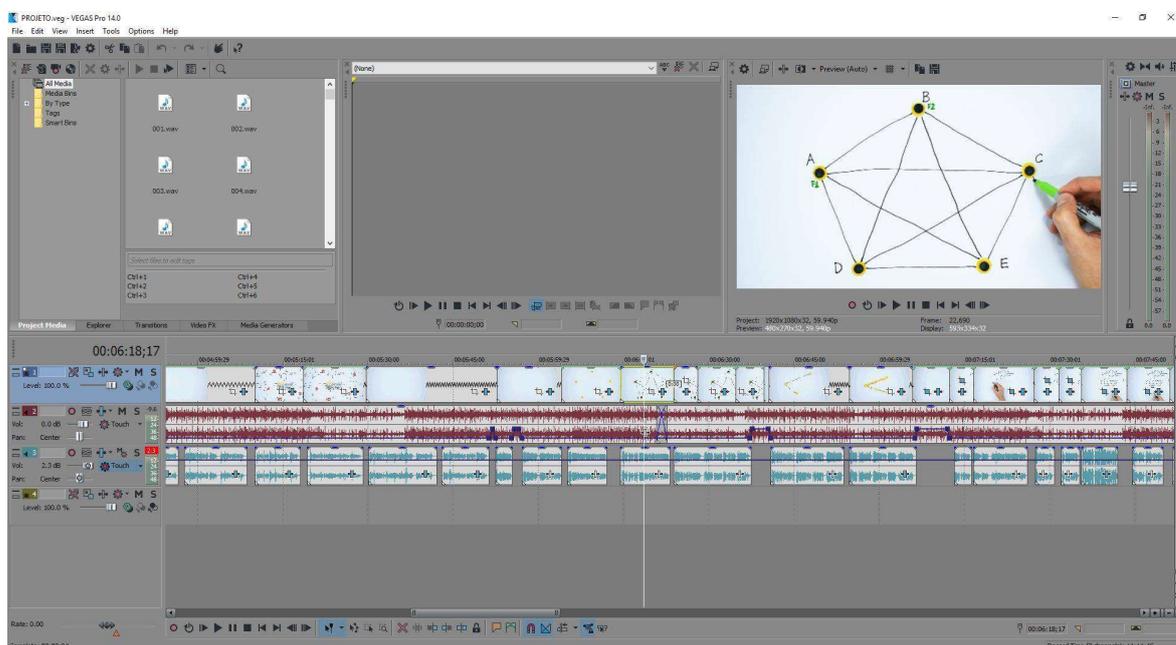


Figura 6 - Screenshot do arquivo de edição do vídeo.

Em uma parte do vídeo foi utilizada a técnica de animação *stop motion*, unindo-se de forma contínua e sequencial várias fotos para simular o comportamento das formigas à procura de alimento. Após a edição final e a sincronização entre áudios e vídeos, realizou-se a edição e sincronização do material resultante à uma música de fundo. Essa foi editada de forma em que a melodia interaja de forma personalizada com cada etapa do vídeo. Uma imagem da equipe frente às atividades é mostrada na Figura 7.



Figura 7 - Equipe trabalhando na produção do vídeo.

4.7 ANÁLISE DE RESULTADOS

O trabalho aqui realizado tem como resultado dois produtos: A criação de um processo para o desenvolvimento de material didático e o material propriamente dito, no caso o vídeo. Em relação ao objetivo geral, no caso, o processo pode-se dizer que o mesmo tem como fatores essenciais para a sua execução:

- Equipe bem relacionada e dedicada;
- Local de trabalho organizado e silencioso;
- Recursos materiais qualificados, especialmente câmera, microfone e computador;
- Mesa para gravações de vídeo;
- Mesa para gravações de áudio e trabalho de edição e sincronização;
- Estrutura para fixar a câmera para filmagens;
- *Software* de edição e sincronização de vídeos;
- *Software* de edição e sincronização de áudios;
- Conhecimento e entendimento avançado do conteúdo abordado;
- Roteiro organizado e bem elaborado;
- Objetos para ilustrações como folhas, canetas, cartolinas e impressão de imagens;

Como principais dificuldades em relação ao processo criado pode-se destacar a obtenção de alguns recursos físicos como câmera, microfone e computador. A boa condição destes é fundamental para a qualidade do vídeo, pois o mesmo é composto de filmagens e gravações de alta resolução e com boa qualidade visual e sonora. Quando se tem uma demanda por recursos de qualidade, se torna quase inevitável um custo financeiro elevado.

Todas as etapas da produção do vídeo, desde o surgimento da ideia até a publicação na internet foram documentadas em um memorial descritivo. Este é o resultado principal do trabalho, ou seja, um documento com a descrição de todo o processo realizado para a obtenção do produto final, no caso, o vídeo. Assim sendo, este memorial pode ser utilizado para a elaboração de novos materiais didáticos de perspectivas semelhantes.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo de elaboração de material didático criado neste trabalho traz grandes benefícios para a área de PO. Pode se utilizá-lo para a criação de materiais voltados para o ensino de outros métodos desta disciplina, tanto na área de soluções exatas como heurísticas. Isto é dito, pois, apesar da mudança de conteúdo, a essência do processo de criação não se altera.

Quanto à questão problema deste trabalho, no caso, “como criar material didático computacional destinado ao ensino de heurística na disciplina de Pesquisa Operacional?”, pode se dizer que ela foi respondida no capítulo 4. Neste é destacada a criação de um memorial descritivo com todas as etapas do processo de elaboração do vídeo, desde o surgimento da ideia até sua publicação na internet.

Além do processo em questão, este trabalho gerou também o material propriamente dito. Este, por se tratar de um vídeo, possui várias vantagens, dentre as quais podem ser destacadas: a facilidade em sua publicação e divulgação na internet; e seu dinamismo, pois o mesmo pode ser visto, pausado e revisto quantas vezes se julgar necessário.

É essencial para boa execução deste processo a realização de um plano de metas antecedente a cada dia de trabalho, que contenha objetivos, levantamento de recursos necessários e possíveis imprevistos. A falta deste nos primeiros dias ocasionou alguns atrasos. Como exemplo pode ser destacado a necessidade de se adquirir materiais como cartolinas e impressões fora do horário comercial.

Em relação aos recursos materiais utilizados na execução do trabalho, recomenda-se algumas alterações. Como exemplo pode se destacar a busca por uma estrutura mais estável para a câmera, pois a mesma se mostrou inadequada em alguns momentos, acarretando mudanças de foco indesejáveis. Pode se sugerir também a realização das gravações de áudio em um ambiente fechado e silencioso, visando diminuir os problemas de interferência e ruído.

Como recomendação para futuros trabalhos, pode se sugerir uma nova etapa no processo para criação do material. Esta refere-se a validação e análise do produto criado (vídeo) feita pelos estudantes em disciplinas de PO. Outra recomendação é a utilização do

mesmo processo para o desenvolvimento de material voltado para outras áreas de conhecimento.

Tendo em vista todas as vantagens de se utilizar recursos computacionais, pode se recomendar também a criação de processos para elaboração de materiais didáticos através da exploração de outras mídias digitais como jogos, aplicativos e animações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBATTISTA, Fabio; ABBATTISTA, Nicola; CAPONETTI, Laura. *An evolutionary and cooperative agents model for optimization*. In: Evolutionary Computation, 1995., IEEE International Conference on. IEEE, 1995. p. 668-671.

ALOISE, Daniel et al. *Heurísticas de colônia de formigas com path-relinking para o problema de otimização da alocação de sondas de produção terrestre–SPT*. XXXIV SBPO, 2002.

ARAKI, L.; VERGILIO, Silvia Regina. *Um framework de geração de dados de teste para critérios estruturais baseados em código objeto Java*. In: Workshop de Testes e Tolerância a Falhas, 2010.

BANDEIRA, Denise. *Materiais didáticos*. Curitiba: Iesde, 2009.

CUNHA, Claudio Barbieri; DE OLIVEIRA BONASSER, Ulisses; ABRAHÃO, Fernando Teixeira Mendes. *Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante*. In: XVI Congresso da Anpet. 2002.

DÁVALOS, R. V. *Uma abordagem do ensino de Pesquisa Operacional baseada no uso de recursos computacionais*. Em: Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Curitiba, 2002.

DORIGO, Marco et al. *Positive feedback as a search strategy*. 1991.

DORIGO, Marco. *Ant colony optimization*. *Scholarpedia*, 2007.

FISCARELLI, Rosilene Batista de Oliveira. *Material didático e prática docente*. *Revista Ibero-americana de estudos em Educação*, v. 2, n. 1, 2007.

GHIRARDELLO, Dante; KITAGAWA, Igor Lebedenco. *Elaboração de Material Didático-Tecnológico por meio de um programa computacional editor de apresentações: uma*

ferramenta para a Alfabetização Científica no Ensino de Física. *Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação*, v. 2, n. 1, 2016.

GOMES, Carla Sofia de Assunção. *Problema do caixeiro viajante*. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.

GONÇALVES, Tayná; DE MR FILHO, Roberto Leite; CORTEZ, Omar Andres Carmona. *Um algoritmo memético para a solução do TSP*. In: VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012.

GREEN, Christopher J. *Simulation of a traveling repairman problem*. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, v. 4, n. 4, p. 409-412, 1968.

IEEEXplore Digital Library. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em 04 abr. 2017.

LAPORTE, Gilbert. *The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms*. European journal of operational research, v. 59, n. 3, p. 345-358, 1992.

LIN, Shen. *Computer solutions of the traveling salesman problem*. The Bell System Technical Journal, v. 44, n. 10, p. 2245-2269, 1965.

MANIEZZO, Vittorio; CARBONARO, Antonella. *Ant colony optimization: an overview*. In: Essays and surveys in metaheuristics. Springer US, 2002. p. 469-492.

MEKSENAS, P. *O uso do material didático e a pedagogia da comunicação*. In: PENTEADO, H. D. Pedagogia da Comunicação: teoria e práticas. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2001.

MELO, S. M. M. O invólucro perfeito: paradigmas de corporeidade e formação de educadores. In: PAULO RENNES MARÇAL RIBEIRO. *Sexualidade e educação: Aproximações necessárias*. São Paulo: Arte e Ciência, 2004.

MORAN, J. M. O vídeo na sala de aula. *In Revista Comunicação & Educação. São Paulo*,

ECA-Ed. Moderna, [2]: 27 a 35, jan./abr. de 1995.

MULATI, Mauro Henrique; CONSTANTINO, Ademir Aparecido; DA SILVA, Anderson Faustino. *Otimização por Colônia de Formigas*. LOPES, HS; RODRIGUES, LCDA; STEINER, MTA Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional. Ominipax, p. 53-68, 2013.

NAGAHASHI, Hiroshi; NIWA, Akihiro; AGUI, Takeshi. *Competition and mutualism in a simulation of adaptive artificial organisms*. In: Evolutionary Computation, 1995., IEEE International Conference on. IEEE, 1995. p. 695-700.

RAYMOND, T. C. *Heuristic algorithm for the traveling-salesman problem*. IBM journal of Research and Development, v. 13, n. 4, p. 400-407, 1969.

REINELT, Gerhard. *The traveling salesman: computational solutions for TSP applications*. Springer-Verlag, 1994.

RICARDO, E. C. (2010). *Problematização e contextualização no ensino de física*. In: Carvalho, A. M. P. (org.). Ensino de Física. São Paulo: Cengage Learning.

SILVA, E. M. & Silva, E. M. & Gonçalves, V. & Murolo, A. C. *Pesquisa Operacional para cursos de Administração e Engenharia*. 4ª ed., Atlas, São Paulo, 2010.

STEIGLITZ, Kenneth; WEINER, Peter; KLEITMAN, D. *The design of minimum-cost survivable networks*. IEEE Transactions on Circuit Theory, v. 16, n. 4, p. 455-460, 1969.

STÜTZLE, Thomas; HOOS, Holger H. MAX-MIN ant system. *Future generation computer systems*, v. 16, n. 8, p. 889-914, 2000.

WINSTON, W. L. *Operations Research: applications and algorithms*, Brooks/Cole, 2004.