



UFES

Projetos de Pesquisa PPGI Otimização Combinatória

Renato E. N. Moraes

Novembro de 2017

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

- ▶ Apresentar os projetos de otimização dos quais participo no PPGI
- ▶ Mostrar os problemas relacionados a cada projeto
 - ▶ enunciar os problemas
 - ▶ estágio atual de desenvolvimento
 - ▶ próximos passos
- ▶ Despertar interesse em novos colaboradores

Conteúdo

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

Definição

A **Otimização Combinatória** é um ramo da ciência da computação e da matemática aplicada que estuda problemas de otimização em conjuntos finitos

- ▶ Em um problema de otimização temos uma função objetivo e um conjunto de restrições, ambos relacionados às variáveis de decisão
 - ▶ Os valores possíveis às variáveis de decisão são delimitados pelas restrições impostas sobre essas variáveis, formando um conjunto discreto (finito ou não) de soluções factíveis a um problema
 - ▶ O problema pode ser de minimização ou de maximização da função objetivo

Definição

A **Otimização Combinatória** é um ramo da ciência da computação e da matemática aplicada que estuda problemas de otimização em conjuntos finitos

- ▶ Classes de complexidade:
 - ▶ **Classe P** – problemas de otimização com métodos exatos e eficientes de resolução
 - ▶ P. ex: árvore geradora mínima de um grafo com peso nas arestas
 - ▶ **Classe NP-completo** – problemas de otimização que podem ser resolvidos na teoria (por exemplo, dado um tempo infinito), mas que na prática levam muito tempo para as suas soluções sejam úteis
 - ▶ Obtenção de soluções aproximadas em tempo razoável
 - ▶ P. ex: árvore geradora mínima de um grafo com ajuste de peso nos nós

- ▶ Algumas técnicas de soluções exatas (algoritmo polinomial para alguns problemas):
 - ▶ Algoritmos de grafos
 - ▶ Algoritmos gulosos
 - ▶ Algoritmo simplex
 - ▶ Branch e bound
 - ▶ Programação dinâmica
 - ▶ Relaxação lagrangiana
- ▶ Algumas das técnicas de obtenção de soluções aproximadas:
 - ▶ Algoritmos genéticos
 - ▶ Busca tabu
 - ▶ Algoritmo da colônia de formigas
 - ▶ Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP)
 - ▶ Redes neurais
 - ▶ Simulated annealing

- ▶ Metodologia básica em Otimização Combinatória:
 1. Escolher problema
 2. Definir classe das diversas variantes do problema
 3. Implementar algoritmos de solução da literatura
 - ▶ Formulações matemáticas
 - ▶ Algoritmos construtivos
 - ▶ Buscas locais
 - ▶ Meta-heurísticas
 4. Propor novos algoritmos de solução
 5. Comparar algoritmos propostos com algoritmos da literatura

- ▶ O estágio atual de desenvolvimento das pesquisas apresentadas a seguir será discutido usando essa metodologia básica

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

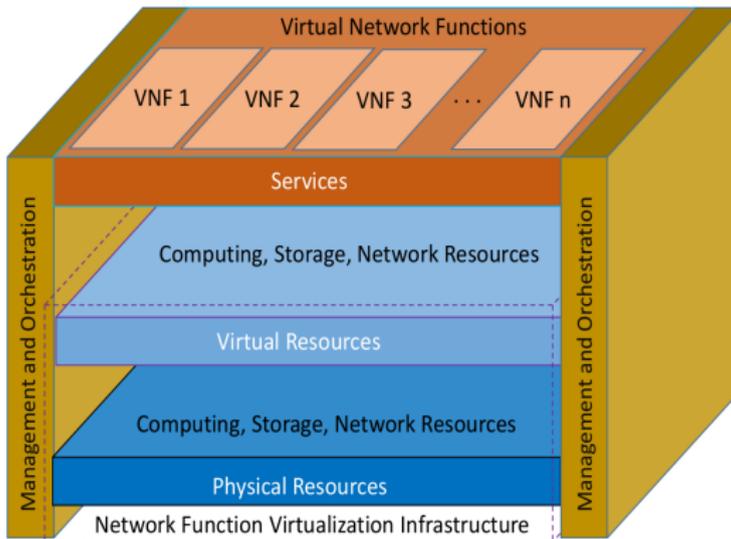
- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

- ▶ Orquestração de Funções de Redes Virtuais (*Virtual Network Functions* – VNF)
- ▶ Desenvolvimento de modelos de otimização e simulação para integração do sistema portuário de Tubarão

- ▶ Orquestração de Funções de Redes Virtuais (*Virtual Network Functions* – VNF)
- ▶ Desenvolvimento de modelos de otimização e simulação para integração do sistema portuário de Tubarão

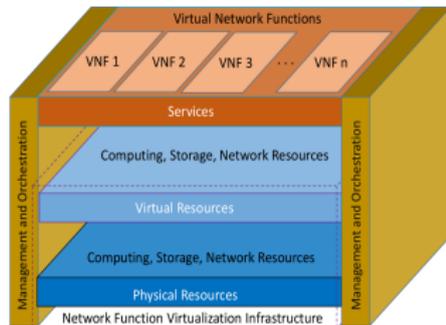


▶ Constituída de três elementos:

- ▶ Infra-estrutura NFV (*Network Function Virtualization Infrastructure – NFVI*)
- ▶ Virtual Network Function – VNF
- ▶ Orquestração (*Management and Orchestration – MANO NFV*)

Definição

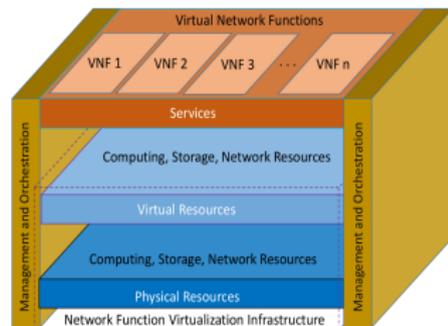
A **Network Function Virtualization Infrastructure – NFVI** é a combinação de recursos de hardware e software que compõem o ambiente no qual as VNFs serão implantadas [Mijumbi, 2015]



- ▶ Os recursos físicos incluem hardware de computação, de armazenamento e de rede.
- ▶ Recursos virtuais são abstrações
 - ▶ dos recursos de computação e armazenamento, tipicamente representados como máquinas virtuais e
 - ▶ dos recursos de rede, tipicamente representados como
 - ▶ nós virtuais, componentes de software com funcionalidades de hospedagem ou roteamento
 - ▶ links virtuais, enlace lógico de dois nós virtuais

Definição

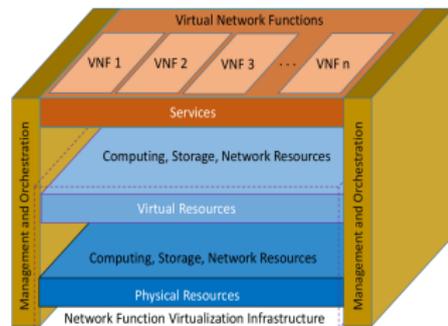
Uma **Virtual Network Function – VNF** é uma implementação de uma *Network Function – NF* a ser implantada em recursos virtuais como uma máquina virtual (*Virtual Machine – VM*) [Mijumbi, 2015]



- ▶ Uma NF é um bloco funcional dentro de uma infra-estrutura de rede com interfaces externas e comportamento funcional bem definidos.
- ▶ Exemplos de NFs:
 - ▶ elementos de uma rede doméstica (gateway residencial)
 - ▶ funções de rede convencionais (servidores DHCP, firewalls, etc)

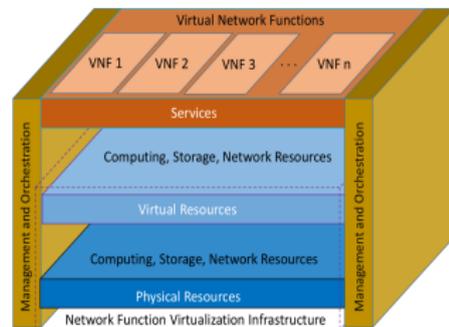
Definição

Uma **NFV MANO** fornece as funcionalidades necessárias para prover a implantação das VNFs, tais como as suas configurações e a infra-estrutura onde serão executadas [Mijumbi, 2015]



- ▶ NFV MANO concentra-se em todas as tarefas específicas de gerenciamento de virtualização necessárias a arquitetura NFV

- ▶ NFV MANO concentra-se em todas as tarefas específicas de gerenciamento de virtualização necessárias a arquitetura NFV



- ▶ orquestração e gerenciamento do ciclo de vida dos recursos físicos e de software que suportam a virtualização da infra-estrutura
- ▶ gerenciamento do ciclo de vida das VNFs
- ▶ bancos de dados usados para armazenar os modelos de informação e de dados
- ▶ define as interfaces a serem usadas para
 - ▶ comunicação entre os diferentes componentes da NFV MANO
 - ▶ coordenação com sistemas de gerenciamento de rede tradicionais

- ▶ NFV só será uma solução aceitável quando atender às seguintes considerações-chave
 - ▶ Confiabilidade e disponibilidade
 - ▶ Segurança e resiliência
 - ▶ Suporte a heterogeneidade
 - ▶ Suporte legado
 - ▶ **Arquitetura de rede e desempenho**
 - ▶ **Escalabilidade de rede e automação**

- ▶ **Arquitetura de rede e desempenho:** para ser aceitável, arquiteturas NFV devem ser capazes de alcançar desempenho semelhante ao obtido a partir de funções que funcionam em hardware dedicado
 - ▶ uso intenso de rede (largura de banda e latência)
 - ▶ uso intenso de computação (aceleração de hardware, memória)
 - ▶ VNFs só devem ser atribuídas aos recursos de armazenamento e computação de que precisam
- ▶ **Escalabilidade de rede e automação:** para alcançar os benefícios da NFV, uma rede escalável e dinâmica é necessária.
 - ▶ Um projeto NFV precisa ser escalável para ser capaz de suportar milhões de assinantes
 - ▶ Ambientes dinâmicos exigem que VNFs possam ser implantadas e removidas sob demanda e dimensionadas para coincidir com as mudanças de tráfego

Definição

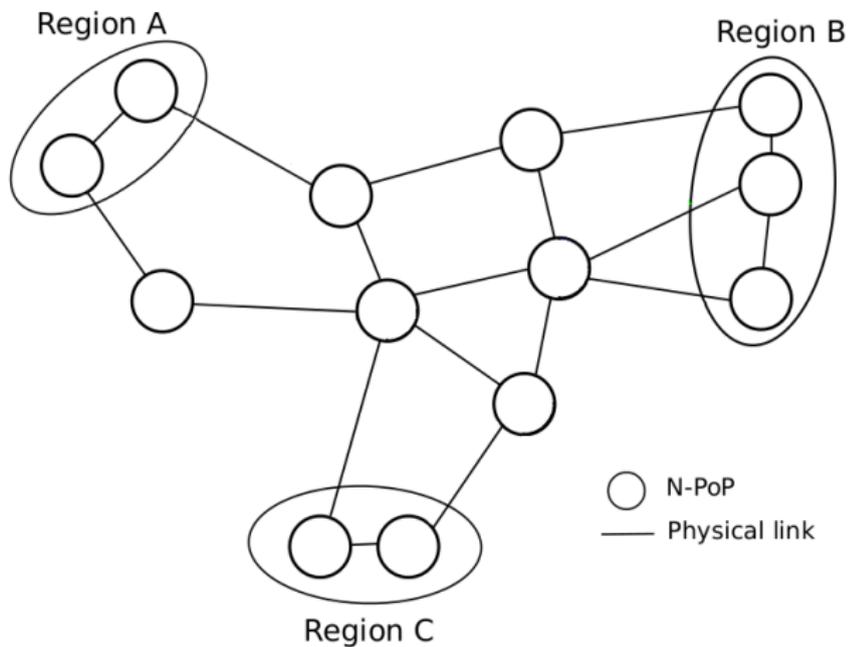
O **Problema de Posicionamento de Funções de Rede** [Bari 2015, Luizelli 2015] consiste em definir a quantidade de instâncias de VNFs necessárias e onde posicioná-las na infraestrutura física tal que o número de VNFs posicionadas seja mínimo.

Problema de posicionamento de funções de rede

- ▶ Dados
 - ▶ uma infra-estrutura NFV
 - ▶ um conjunto de VNFs
 - ▶ um conjunto de solicitações de *Service Function Chains* (SFC) que consistem em VNFs, e as ligações entre elas, que devem ser devidamente designadas às funções de rede instanciadas
- ▶ Definir
 - ▶ quantas instâncias de VNFs são necessárias
 - ▶ onde posicionar as instâncias de VNFs na infra-estrutura
 - ▶ determinar os caminhos fim-a-fim por onde os fluxos de dados das SFCs devem transitar
- ▶ Tal que
 - ▶ a quantidade de recursos físicos disponíveis não seja excedido
 - ▶ os caminhos tenha quantidade de banda suficiente para suportar os fluxos de dados das SFCs
 - ▶ a sequência de VNFs seja adequada
 - ▶ a quantidade de VNFs posicionadas na infra-estrutura seja mínima

Problema de posicionamento de funções de rede

- Uma infra-estrutura NFV



- ▶ Um conjunto de VNFs

NF₁

Firewall

NF₂

IDS

NF₃

Proxy

NF₄

Nat

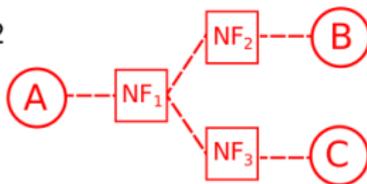
Problema de posicionamento de funções de rede

- Um conjunto de solicitações SFCs

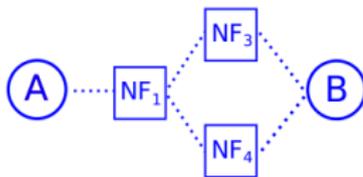
SFC-1



SFC-2

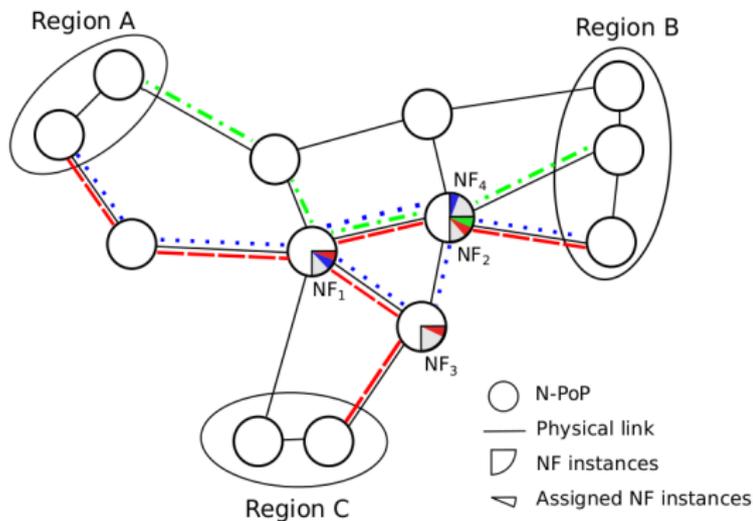


SFC-3

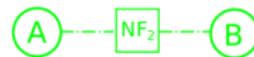


Problema de posicionamento de funções de rede

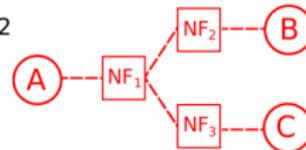
- Posicionamento de VNFs em uma infraestrutura física para atender as solicitações SFCs



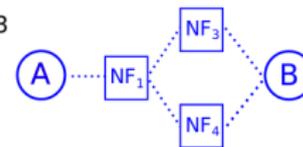
SFC-1



SFC-2



SFC-3



Estágio atual de desenvolvimento

1. Escolher problema
 - ▶ Problema de posicionamento de funções de rede
2. Definir classe das diversas variantes do problema
 - ▶ NP-Completo em todas as variantes conhecidas (diferentes funções objetivos, entradas, restrições, etc)
3. Implementar algoritmos de solução da literatura
 - ▶ Formulação matemática MILP [Luizelli 2015]
 - ▶ Heurística construtiva [Bari 2015]
4. Propor novos algoritmos de solução
 - ▶ Formulação matemática MILP adaptada para resolver mesmo problema da heurística
 - ▶ Heurística construtiva adaptada para resolver mesmo problema da Formulação MILP
5. Comparar algoritmos propostos com algoritmos da literatura
 - ▶ Em execução.

- ▶ Concluir testes e ajustes dos algoritmos já implementados
- ▶ Propor algoritmos mais complexos e eficientes para o mesmo problema
- ▶ Colocar os algoritmos implementados para funcionar na infraestrutura de rede do NERDS como componente de um NFV Management and Orchestration real.
 - ▶ Ajustar problema ao mundo real (novos problemas?)
 - ▶ Ajustar soluções ao mundo real (consumo de recursos/tempo)
 - ▶ Avaliar algoritmos em ambiente de “produção” (latência, tráfego, etc)

- ▶ Orquestração de Funções de Redes Virtuais (*Virtual Network Functions – VNF*)
- ▶ Desenvolvimento de modelos de otimização e simulação para integração do sistema portuário de Tubarão

Integração do sistema portuário de Tubarão

- ▶ O Terminal de Tubarão possui 3 grupos operacionais principais:
 - ▶ viradores de vagões
 - ▶ área de empilhamento (pátios)
 - ▶ píeres
- ▶ Tais grupos são interligados por uma enorme quantidade de esteiras, equipamentos de empilhamento, recuperação e carregamento
- ▶ A movimentação do minério pelo terminal é realizada por rotas de esteiras e equipamentos, utilizadas para
 - ▶ descarga do minério nos viradores até o empilhamento no pátio
 - ▶ recuperação do minério do pátio para ser conduzido até um carregador de navios
- ▶ Rotas que compartilham equipamentos não podem ser utilizadas simultaneamente (bloqueio).

Viradores de Vagão



Pátios





Pátios – Empilhamento



Pátios – Empilhamento



Pátios – Recuperação



Pátios – Recuperação e esteira

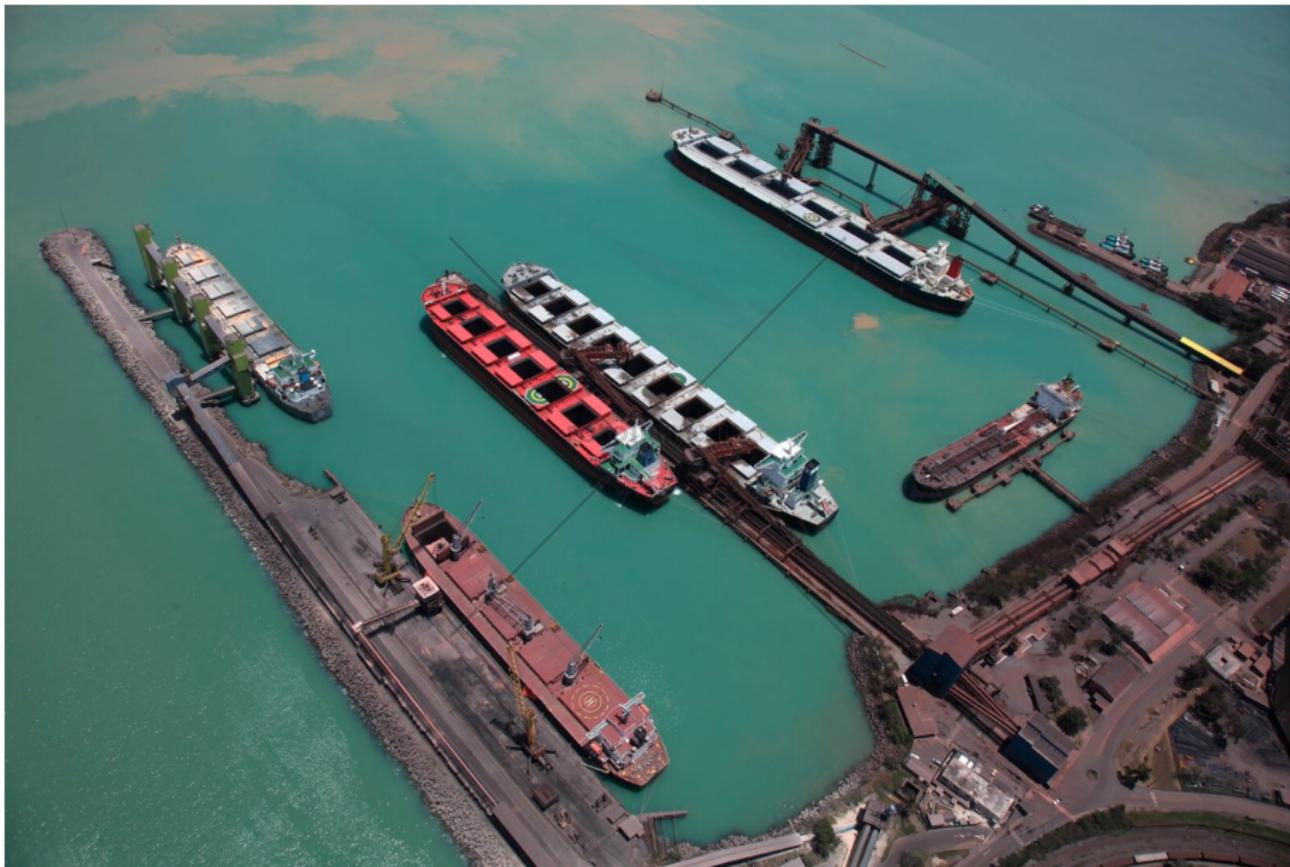


Esteiras



Píeres e esteira





Visão Geral



Integração do sistema portuário de Tubarão

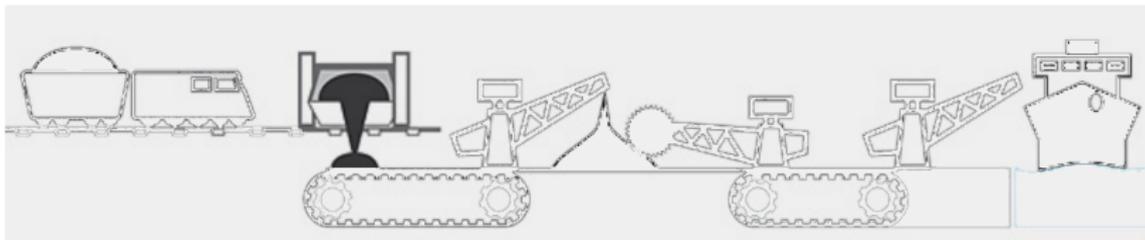
- ▶ Grupos operacionais:
 - ▶ Módulo Fila de Vagões
 - ▶ Módulo Gestão de Pátio
 - ▶ Módulo Fila de Navios



- ▶ Atualmente, cada grupo operacional tem uma equipe responsável pelo planejamento da utilização dos seus recursos

Módulo Fila de Vagões:

- ▶ Realiza o *scheduling* do descarregamento do minério nos viradores de vagões
- ▶ Envolve selecionar os vagões dos trens e descarregá-los nos viradores de vagões de onde esse minério é direcionado para uma empilhadeira que formará a pilha de minério no pátio
- ▶ Um dos grandes desafios é alocar esses viradores aos vagões da melhor forma possível, objetivando maximizar o número de vagões descarregados por dia

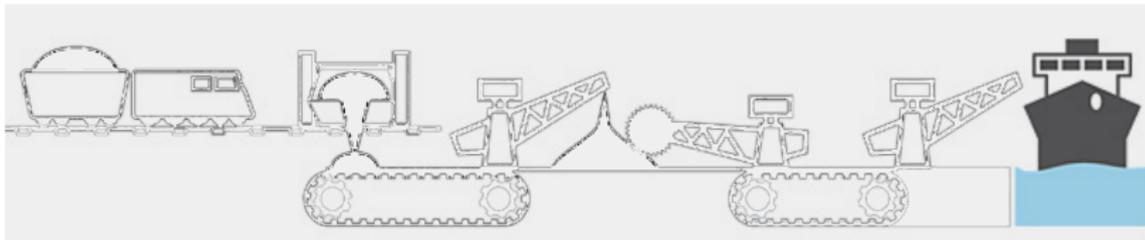


- ▶ Determina a alocação dos produtos às áreas de armazenagem considerando a mistura correta para cada produto
- ▶ Envolve a definição de quais são as melhores alternativas de retirada desse material do pátio para colocá-lo nos navios
- ▶ Entre outros objetivos, busca-se minimizar o tempo de atendimento do navio, com isso maximizando a taxa de empilhamento ou de recuperação



Módulo Fila de Navios

- ▶ Realiza o *scheduling* dos navios nos píeres
- ▶ Envolve determinar a melhor fila de navios, ou seja, determinar o berço e o momento de atracação de cada navio
- ▶ Busca maximizar a tonelage embarcada e minimizar o pagamento de encargos contratuais do navios



▶ Problemas:

- ▶ devido à interdependência entre os grupos operacionais, o melhor plano para um determinado grupo pode atrapalhar o desempenho de outro
- ▶ buscar o melhor resultado considerando um grupo operacional, não implica no melhor resultado da operação global

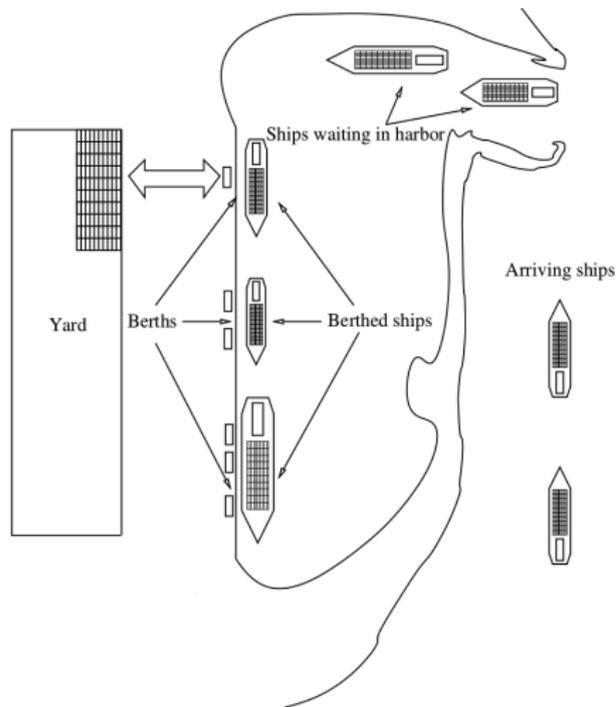
▶ Solução:

- ▶ desenvolver algoritmos de apoio à decisão capazes de planejar, de forma integrada, as operações de descarregamento, armazenagem e embarque de maneira a alcançar o melhor desempenho possível com a estrutura disponível
- ▶ Exemplo de objetivos globais:
 - ▶ maximizar a taxa de carregamento
 - ▶ minimizar o pagamento de multas por demoras de navios (demurrage)
 - ▶ melhor utilização do pátio e equipamentos

Definição

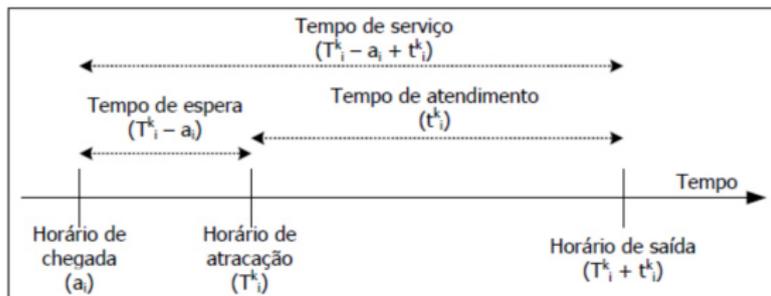
O **Problema de Alocação de Berços** [Cordeau 2005, Oliveira 2012, Mauri 2016] consiste em alocar navios a posições de atraque no cais minimizando o tempo de serviço. As decisões dizem respeito à

- ▶ posição (onde?) e
- ▶ ao tempo (quando?) em que o navio deverá atracar.



Problema de Alocação de Berços – PAB

- ▶ Dados
 - ▶ um conjunto de berços com tempos de abertura e fechamento
 - ▶ um conjunto de navios com horário de chegada, horário de fechamento da janela de atendimento e tempo de atendimento.
- ▶ Definir
 - ▶ o berço de atracação para cada navio
 - ▶ o horário em que cada navio atraca no berço
- ▶ Tal que
 - ▶ cada navio seja atendido por apenas um único berço
 - ▶ os horários sejam respeitados
 - ▶ a soma do tempo de serviço seja mínimo

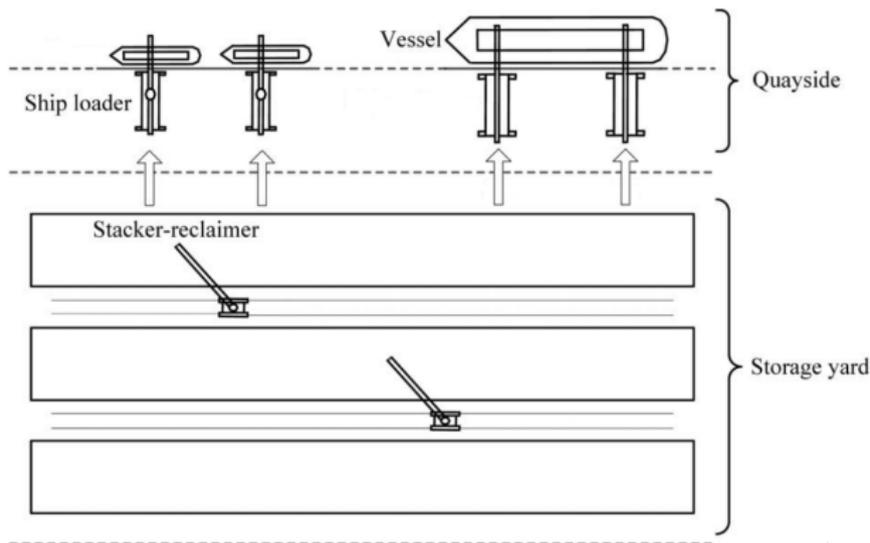


1. Escolher problema
 - ▶ Problema de Alocação de Berços
2. Definir classe das diversas variantes do problema
 - ▶ NP-Completo em todas as variantes conhecidas (discreto, contínuo, estático, dinâmico)
3. Implementar algoritmos de solução da literatura
 - ▶ Heurísticas construtivas [Cordeau 2005, Pinto 2006, Oliveira 2012]
 - ▶ Buscas locais [Cordeau 2005, Oliveira 2012]
 - ▶ Tabu search [Cordeau 2005]
4. Propor novos algoritmos de solução
 - ▶ Heurística construtiva aleatória
 - ▶ GRASP
5. Comparar algoritmos propostos com algoritmos da literatura
 - ▶ Em execução

- ▶ Concluir testes e ajustes dos algoritmos já implementados
- ▶ Propor algoritmos adaptados para o problema específico do Porto de Tubarão
 - ▶ Ajustar problema ao mundo real (novos problemas?)
 - ▶ Ajustar soluções ao mundo real (consumo de recursos/tempo)
- ▶ Integração dos problemas

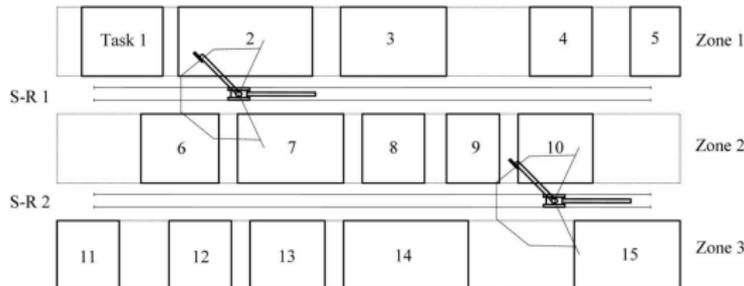
Definição

O **Problema de Alocação de Empilhadeira-Recuperadora (E-R)** [Hu 2012, Angelelli 2016] em pátios de armazenamento de minério de ferro consiste em determinar a sequência de alocação de equipamentos (E-R) às tarefas (empilhamento ou recuperação) agendadas com o objetivo de minimizar o tempo máximo de conclusão de todas as tarefas.



Problema de Alocação de E-R – PAER

- ▶ Dados
 - ▶ conjunto de E-R
 - ▶ conjunto de tarefas
 - ▶ tempos de processamento de uma tarefa por um E-R específico
 - ▶ tempos de *setup* (intervalo entre tarefas para E-R se preparar)
- ▶ Definir
 - ▶ E-R que vai atender tarefa
 - ▶ o momento em que a E-R irá atender a tarefa
- ▶ Tal que
 - ▶ Apenas uma E-R pode processar uma tarefa de cada vez até completar a tarefa sem qualquer pausa ou mudança
 - ▶ o tempo máximo de conclusão de todas as tarefas seja mínimo.



1. Escolher problema
 - ▶ Problema de Alocação de E-R
2. Definir classe das diversas variantes do problema
 - ▶ NP-Completo nas principais variantes conhecidas
3. Implementar algoritmos de solução da literatura
 - ▶ Em execução
4. Propor novos algoritmos de solução
 - ▶ Formulação matemática MILP baseada no Problema da Mochila
5. Comparar algoritmos propostos com algoritmos da literatura
 - ▶ não iniciado

- ▶ Expansão da revisão bibliográfica
- ▶ Melhor definição do problema
- ▶ Implementação de algoritmos da literatura e comparações
- ▶ Propor algoritmos adaptados para o problema específico do Porto de Tubarão
 - ▶ Ajustar problema ao mundo real (novos problemas?)
 - ▶ Ajustar soluções ao mundo real (consumo de recursos/tempo)
- ▶ Integração dos problemas
 - ▶ Virador de Vagões?

Conteúdo

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

- ▶ Vários problemas e propostas de soluções em aberto
- ▶ Integração entre os professores da área de otimização do PPGI
- ▶ Multidisciplinaridade: matemática, computação, eng. de produção
- ▶ Participação da indústria
- ▶ Possibilidade de aplicação imediata no mundo real
- ▶ Relevância dos problemas estudados permitem publicações em meios de destaque

Conteúdo

1 Objetivos

2 Introdução

3 Projetos

- Orquestração de Funções de Redes Virtuais
- Integração do sistema portuário de Tubarão

4 Conclusão

5 Referências

- Angelelli, E., Kalinowski, T., Kapoor, R., Savelsbergh, M. W.** (2016). A reclaimer scheduling problem arising in coal stockyard management. *Journal of Scheduling*, vol. 19, pp. 563–582.
- Bari, M. Faizul, Chowdhury, S. R., Ahmed, R. and Boutaba, R.** (2015). On orchestrating virtual network functions. In proceedings of 11th International Conference on Network and Service Management (CNSM), Barcelona, pp. 50–56.
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Legato, P. e Moccia, L.** (2005). Models and tabu search heuristics for the berth allocation problem, *Transportation Science*, vol. 39, pp. 526–538.
- Hu, D., Yao, Z.** (2012). Stacker-reclaimer scheduling in a dry bulk terminal. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 25, pp. 1047–1058.
- Luizelli, M. C., Bays, L. R., Buriol, L. S., Barcellos, M. P., and Gaspary, L. P.** (2015). Piecing together the NFV provisioning puzzle: Efficient placement and chaining of virtual network functions. In proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM), Ottawa, pp. 98–106
- Mauri, G. R., Ribeiro, G. M., Lorena, L. A. N., Laporte, G.** (2016). An adaptive large neighborhood search for the discrete and continuous Berth allocation problem. *Computers & Operations Research*, vol. 70, pp. 140–154.
- Mijumbi, R., Serrat, J., Gorricho, J. L., Bouten, N., De Turck, F., Boutaba, R.** (2015). Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. In *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 18, pp. 236–262.
- Oliveira R. M., Mauri G. R., Lorena L. A. N.** (2012) Clustering search for the berth allocation problem. *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, pp. 5499–505.
- Pinto A. B.** (2006) Planejamento da seqüência de atendimento de embarques do Porto de Tubarão. Dissertação (Mestrado em Informática) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, pp. 1–164.