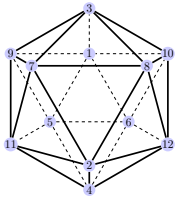
8 - Iterated Local Search (ILS) & Variable Neighborhood Search (VNS)

Alexandre Checoli Choueiri

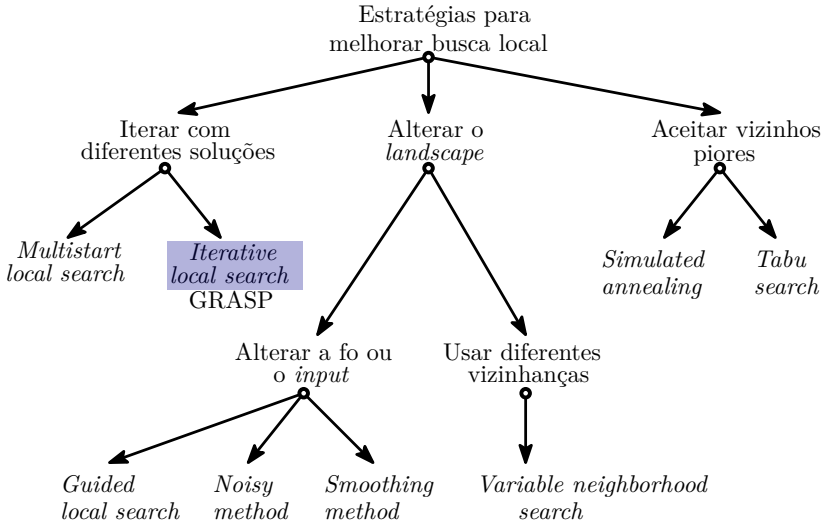
16/04/2023



1. Iterated Local Search (ILS) - A idéia geral
2. ILS No *fitness landscape*
3. ILS - Pseudocódigo e design
4. Variable Neighborhood Search (VNS) - A ideia geral
5. VND No *fitness landscape*
6. VND - Pseudocódigo
7. Atividades

Iterated Local Search (ILS) - A idéia geral

ILS - A idéia geral



ILS - A idéia geral

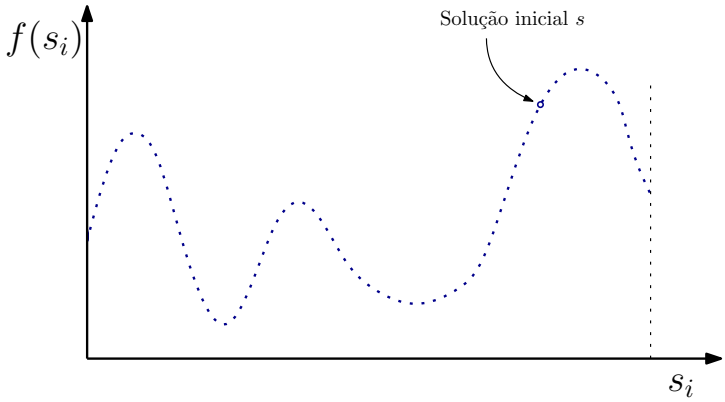
A qualidade do ótimo local obtido pela busca local é muito dependente da escolha da solução inicial, como já havíamos mencionado. A idéia do ILS (*Iterated Local Search* - busca local iterativa) é **gerar diversas soluções** iniciais com alta variabilidade, e aplicar um **componente de intensificação** (como a busca local) em cada uma delas.

ILS - A idéia geral

Na prática, **o ILS não gera soluções aleatórias iniciais**, mas sim aplica um componente de **perturbação** no ótimo local e reaplica a **intensificação**. Dessa forma busca-se manter alguma parte do ótimo local encontrado, porém "jogá-lo" para uma outra região do *fitness-landscape*.

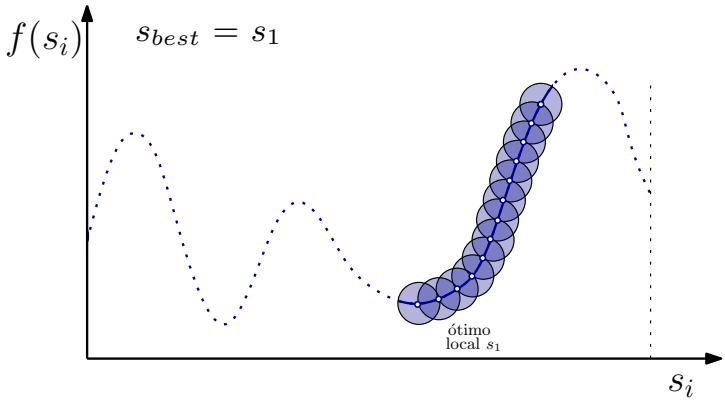
ILS No *fitness landscape*

No *fitness landscape*



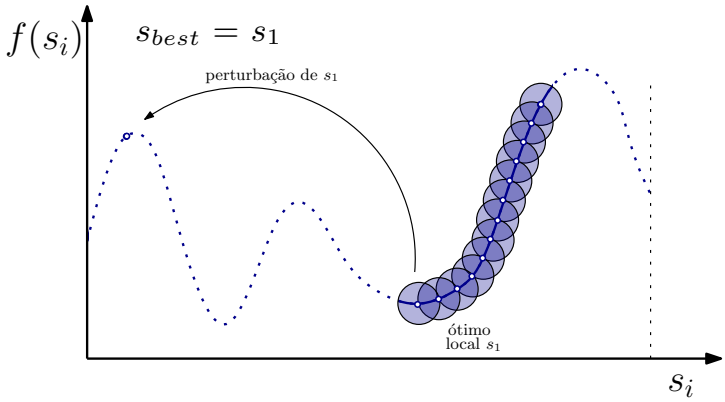
Inicialmente geramos uma solução inicial.

No *fitness landscape*



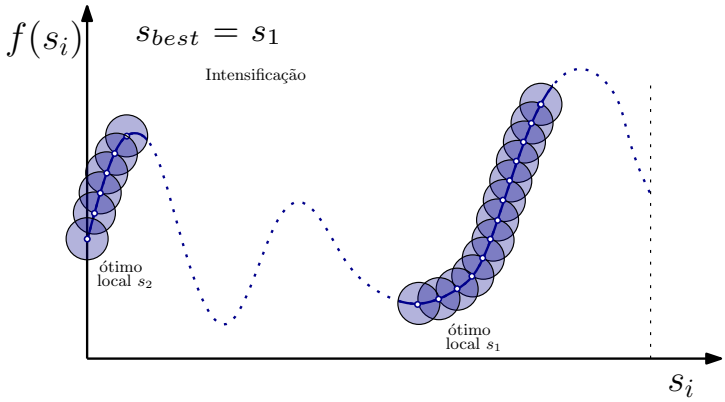
E aplicamos um componente de intensificação (como a **busca local**).

No *fitness landscape*



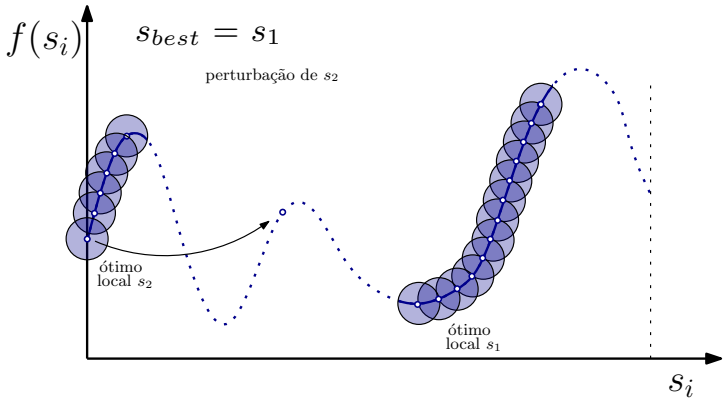
Em seguida perturbamos o ótimo local, mandando-o a outra região do *fitness landscape*.

No *fitness landscape*



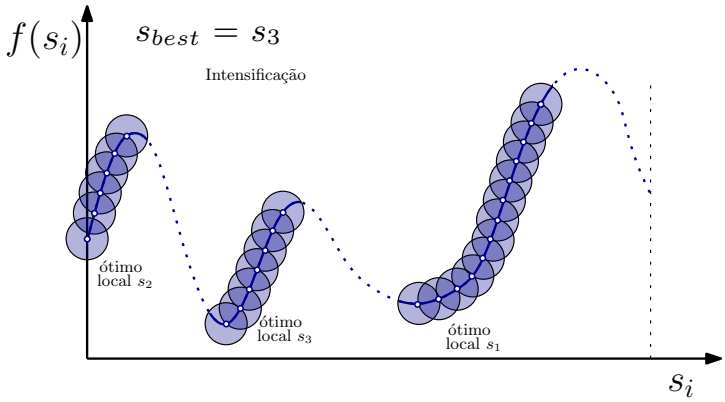
E o componente de intensificação é novamente aplicado.

No *fitness landscape*



O processo é repetido por um **número determinado** de iterações.

No *fitness landscape*



E sempre a melhor solução até o momento deve ser armazenada.

ILS - Pseudocódigo e design

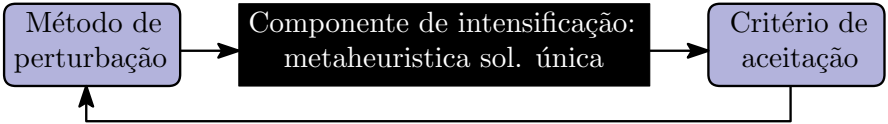
Pseudocódigo

Abaixo segue um pseudocódigo template do ILS.

Algorithm 1 Template genérico ILS

s_0 = GeraSolInicial() ▷ Gera uma solução inicial
s_* = Intensificacao(s_0) ▷ Busca local
$s_{best} = s_*$
repeat
  $s' =$ PerturbaSol(s_*)
  $s'_* =$ Intensificacao(s')
  $s_* =$ CriterioDeAceite(s_*,s'_*) ▷ Aceita s'_* ou não
  if $f(s'_*) < f(s_{best})$ **then**
    $s_{best} = s'_*$
  end if
until Criterio de parada
return s_{best} ▷ Melhor s deve ser armazenada

Componentes de *design*



De forma geral o ILS possui 3 componentes de *design*:

1. **O método de perturbação:** é o componente de exploração do algoritmo.
2. **Intensificação:** é o componente de intensificação, pode ser uma caixa preta, ou seja, qualquer metaheuristica de solução única pode ser usada.
3. **Aceitação:** critério que decide se a nova solução intensificada será usada na próxima iteração.

Componentes de *design*

A premissa do ILS é que a componente de **perturbação** deve ser mais eficiente do que um **reinicio aleatório**, onde uma solução independente aleatória seria gerada em toda iteração. Perturbando **uma parte** da solução garante que estaremos explorando o espaço de busca, mas em uma região não muito afastada do ótimo local.

Vale ressaltar que essa abordagem depende do *fitness landscape*, pode ser que um algoritmo com reinicio aleatório seja mais eficiente. Dessa forma, um primeiro exercício no design de um ILS é executar uma perturbação viesada e comparar com o reinicio totalmente aleatório.

Componentes de *design*

OBSERVAÇÃO

Podemos usar as próprias vizinhanças para o componente de perturbação. Por exemplo, para o TSP podemos perturbar uma solução com diversos movimentos SWAPS aleatórios. Uma boa decisão de design é usar uma vizinhança para a perturbação **diferente daquela usada na componente de intensificação**. Dessa forma a probabilidade de ciclagem das soluções é reduzida.

Variable Neighborhood Search (VNS) - A ideia geral

VNS - A ideia geral

Como no ILS, o VNS (variable neighborhood search - busca em vizinhança variável) tenta escapar de ótimos locais, porém parte das seguintes premissas:

1. A escolha de uma vizinhança $\mathcal{N}_1$ define um *fitness landscape* $\mathcal{F}_1$.
2. Todo *fitness landscape* possui um ótimo local.
3. O ótimo global é um ótimo local, referente a alguma vizinhança $\mathcal{N}_i$.

VNS - A ideia geral

Dessa forma, a ideia do **VNS** é explorar sucessivamente um conjunto pré-definido de vizinhanças. A busca é feita de forma **aleatória** ou **sistemática** no conjunto de vizinhanças (dando origem a variantes), obtendo diferentes ótimos locais. A forma mais comum de VNS é chamada de **VND** (*variable neighborhood descent*).

O VND é uma variante determinística do VNS. O VND usa sucessivas vizinhanças de forma descendente em buscas locais.

VND - A ideia geral

1. Inicialmente é necessário definir um conjunto $\mathcal{N}_l(l = 1, ..., l_{max})$ de vizinhanças. Seja $\mathcal{N}_1$ a primeira vizinhança a ser usada, e x uma solução inicial.

VND - A ideia geral

1. Inicialmente é necessário definir um conjunto $\mathcal{N}_l(l = 1, ..., l_{max})$ de vizinhanças. Seja $\mathcal{N}_1$ a primeira vizinhança a ser usada, e x uma solução inicial.
2. Se uma melhoria na solução x na vizinhança atual $\mathcal{N}_l(x)$ não é possível, a estrutura de vizinhança é alterada de $\mathcal{N}_l$ para $\mathcal{N}_{l+1}$.

VND - A ideia geral

1. Inicialmente é necessário definir um conjunto $\mathcal{N}_l (l = 1, ..., l_{max})$ de vizinhanças. Seja $\mathcal{N}_1$ a primeira vizinhança a ser usada, e x uma solução inicial.
2. Se uma melhoria na solução x na vizinhança atual $\mathcal{N}_l(x)$ não é possível, a estrutura de vizinhança é alterada de $\mathcal{N}_l$ para $\mathcal{N}_{l+1}$.
3. Se uma melhoria na solução atual x é encontrada, retorna-se a estrutura de vizinhança $\mathcal{N}_1(x)$, e a busca é reiniciada.

VND - A ideia geral

1. Inicialmente é necessário definir um conjunto $\mathcal{N}_l (l = 1, ..., l_{max})$ de vizinhanças. Seja $\mathcal{N}_1$ a primeira vizinhança a ser usada, e x uma solução inicial.
2. Se uma melhoria na solução x na vizinhança atual $\mathcal{N}_l(x)$ não é possível, a estrutura de vizinhança é alterada de $\mathcal{N}_l$ para $\mathcal{N}_{l+1}$.
3. Se uma melhoria na solução atual x é encontrada, retorna-se a estrutura de vizinhança $\mathcal{N}_1(x)$, e a busca é reiniciada.
4. O algoritmo termina quando nenhuma vizinhança $\mathcal{N}_l$ melhorar a solução atual.

VND - A ideia geral

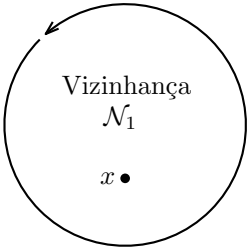
1. Inicialmente é necessário definir um conjunto $\mathcal{N}_l (l = 1, ..., l_{max})$ de vizinhanças. Seja $\mathcal{N}_1$ a primeira vizinhança a ser usada, e x uma solução inicial.
2. Se uma melhoria na solução x na vizinhança atual $\mathcal{N}_l(x)$ não é possível, a estrutura de vizinhança é alterada de $\mathcal{N}_l$ para $\mathcal{N}_{l+1}$.
3. Se uma melhoria na solução atual x é encontrada, retorna-se a estrutura de vizinhança $\mathcal{N}_1(x)$, e a busca é reiniciada.
4. O algoritmo termina quando nenhuma vizinhança $\mathcal{N}_l$ melhorar a solução atual.

OBS: A estratégia do VND vai ser **mais efetiva** se as diferentes estruturas de vizinhanças usadas forem **complementares** entre si, no sentido de que o ótimo local para uma vizinhança $\mathcal{N}_i$ não será um ótimo local para a vizinhança $\mathcal{N}_j$.

VND - A ideia geral

Podemos visualizar esse processo mais facilmente por meio de um fluxograma.

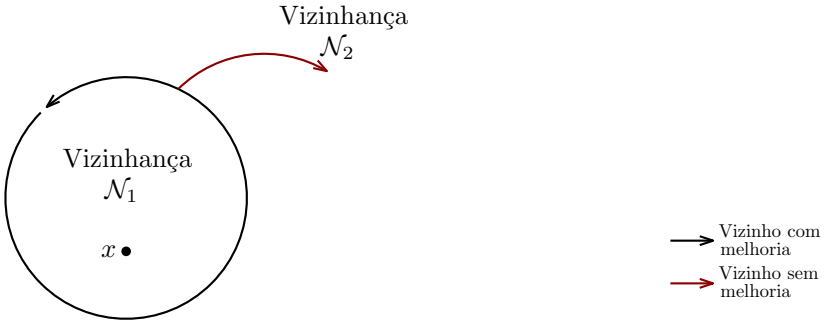
VND - Fluxograma



Vizinho com melhoria

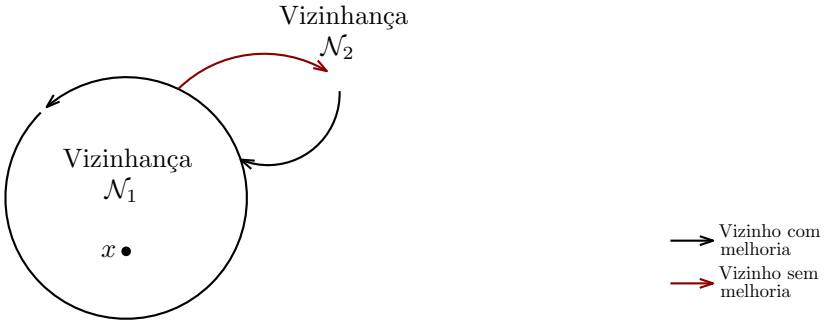
A busca local é aplicada usando a vizinhança $\mathcal{N}_1$

VND - Dinâmica



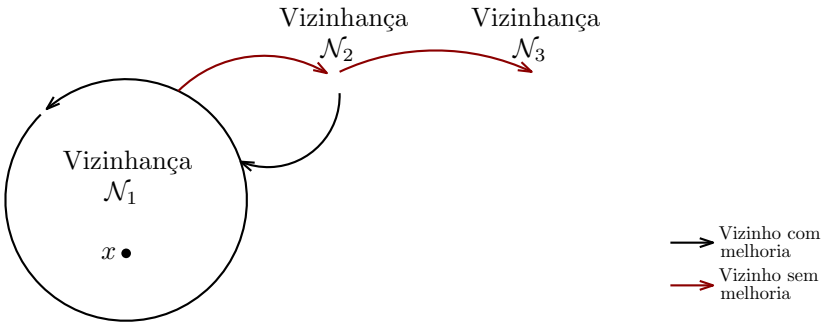
Quando a solução não pode mais ser melhorada (ótimo local), troca-se para $\mathcal{N}_2$.

VND - Dinâmica



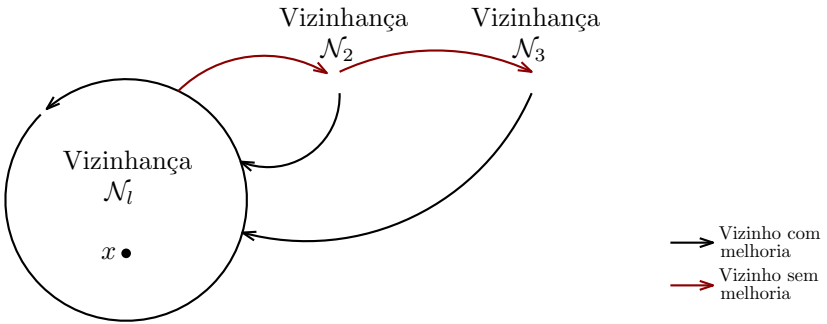
Novamente, uma busca local é executada em $\mathcal{N}_2$. Se a solução foi melhorada, volta-se para $\mathcal{N}_1$.

VND - Dinâmica



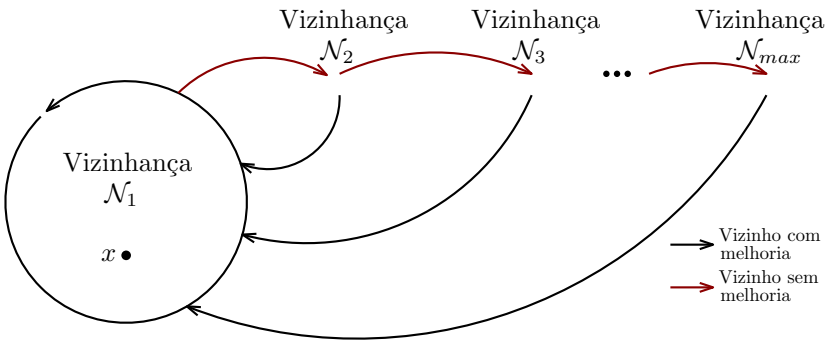
Quando tanto $\mathcal{N}_1$ quanto $\mathcal{N}_2$ não melhorarem x, ativa-se $\mathcal{N}_3$.

VND - Dinâmica



A busca segue dessa forma, até o momento em que nenhuma vizinhança conseguir melhorar a solução x.

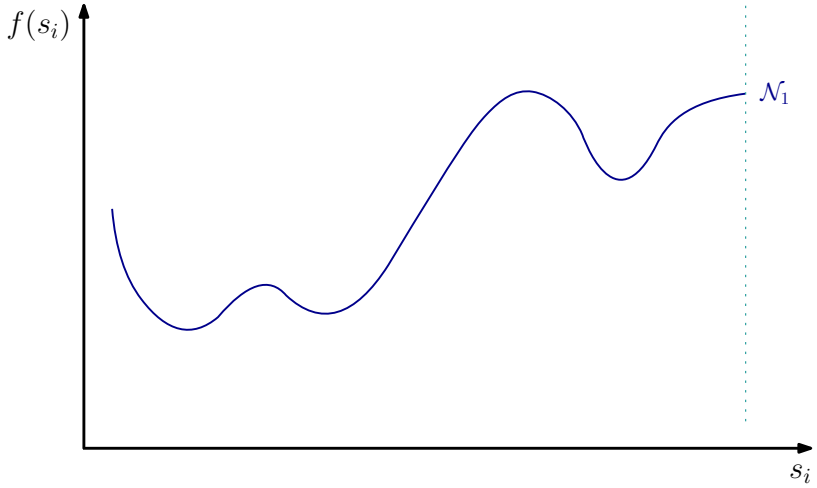
VND - Dinâmica



A busca segue dessa forma, até o momento em que nenhuma vizinhança conseguir melhorar a solução x.

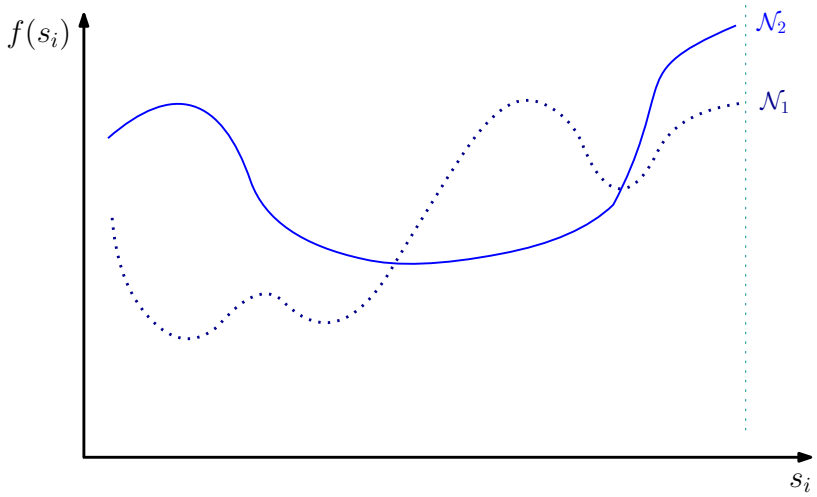
VND No *fitness landscape*

VND - Fitness landscape



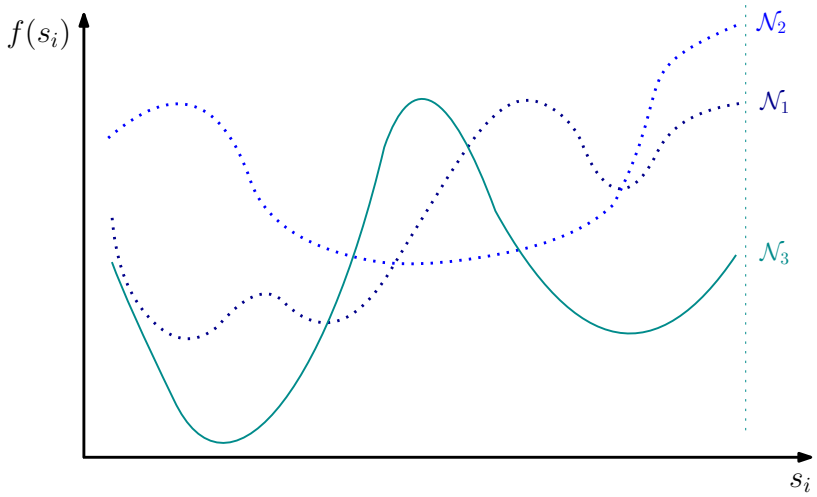
Sejam as vizinhanças $\mathcal{N}_1$, $\mathcal{N}_2$ e $\mathcal{N}_3$.

VND - Fitness landscape



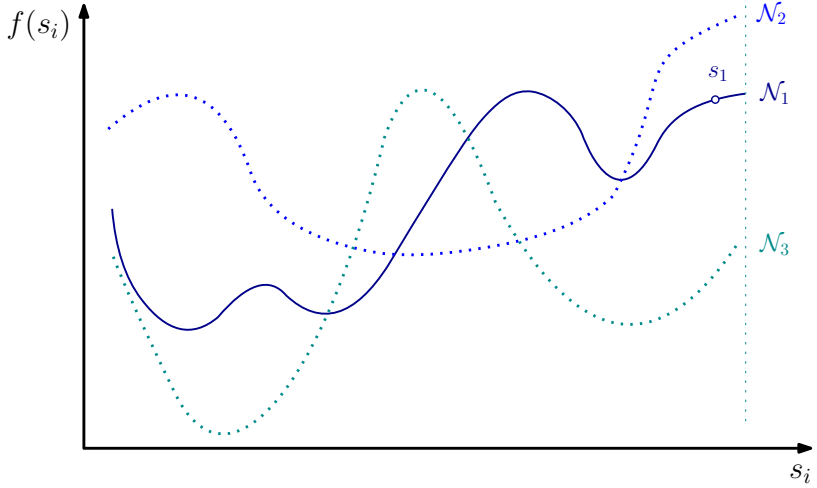
Sejam as vizinhanças $\mathcal{N}_1$, $\mathcal{N}_2$ e $\mathcal{N}_3$.

VND - Fitness landscape



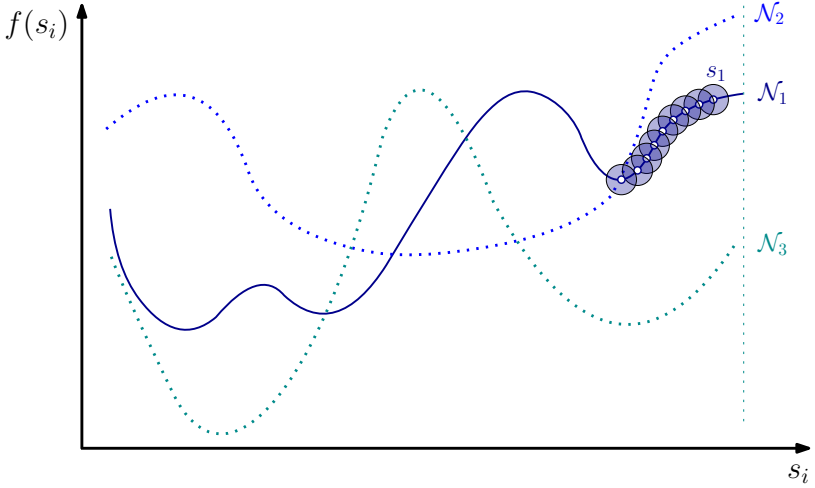
Sejam as vizinhanças $\mathcal{N}_1$, $\mathcal{N}_2$ e $\mathcal{N}_3$.

VND - Fitness landscape



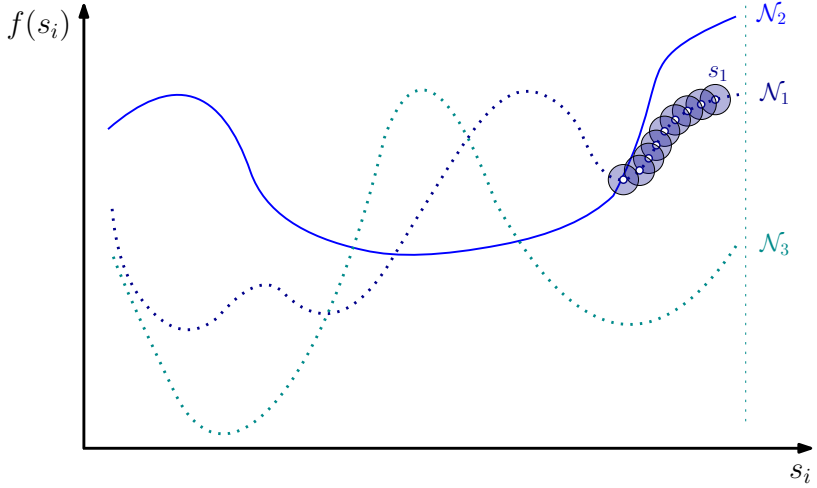
Com uma solução inicial s_1

VND - Fitness landscape



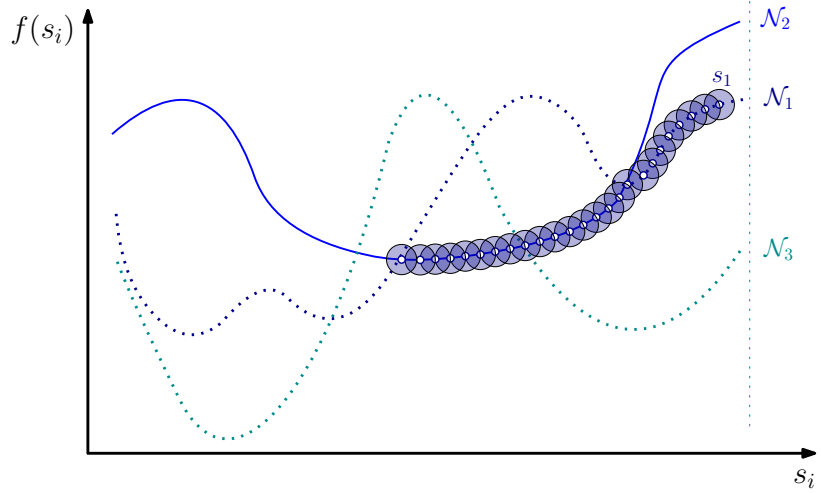
Aplicamos uma busca local em $\mathcal{N}_1(s_1)$

VND - Fitness landscape



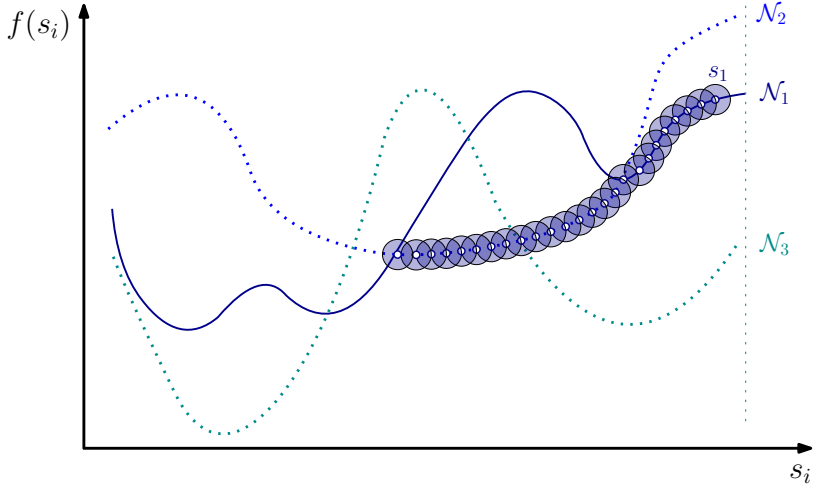
Quando o ótimo local é encontrado, ativamos $\mathcal{N}_2$

VND - Fitness landscape



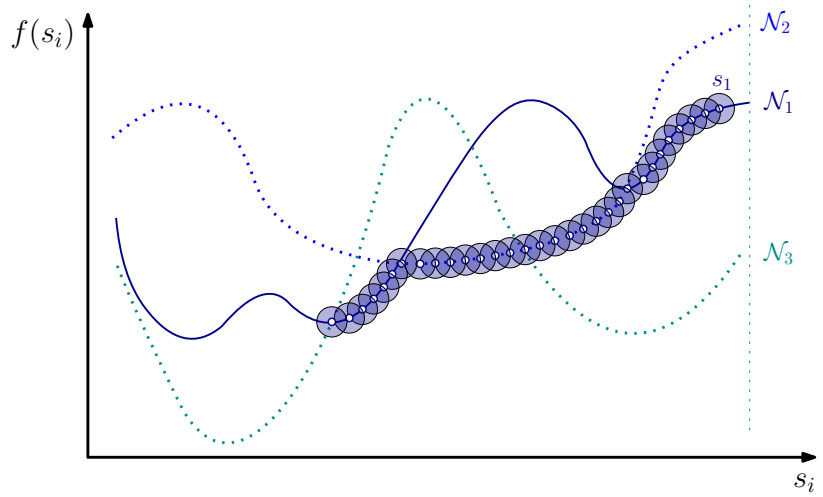
E intensificamos a solução.

VND - Fitness landscape



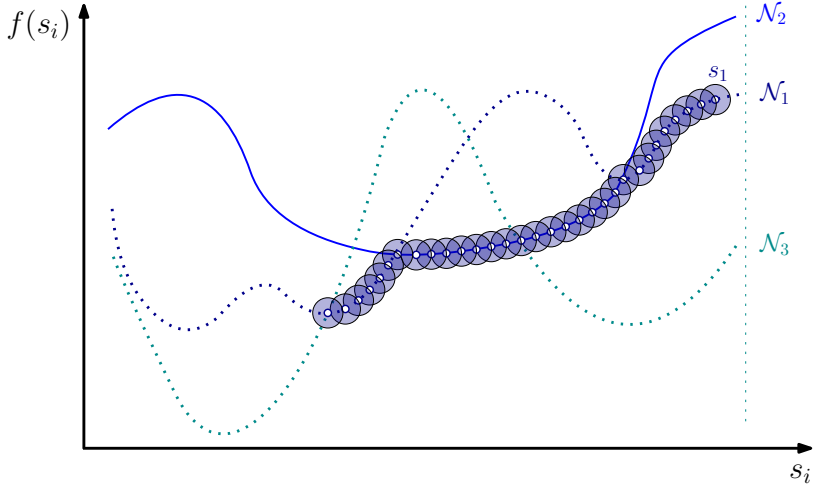
Como $\mathcal{N}_2$ produziu uma melhoria, voltamos para $\mathcal{N}_1$

VND - Fitness landscape



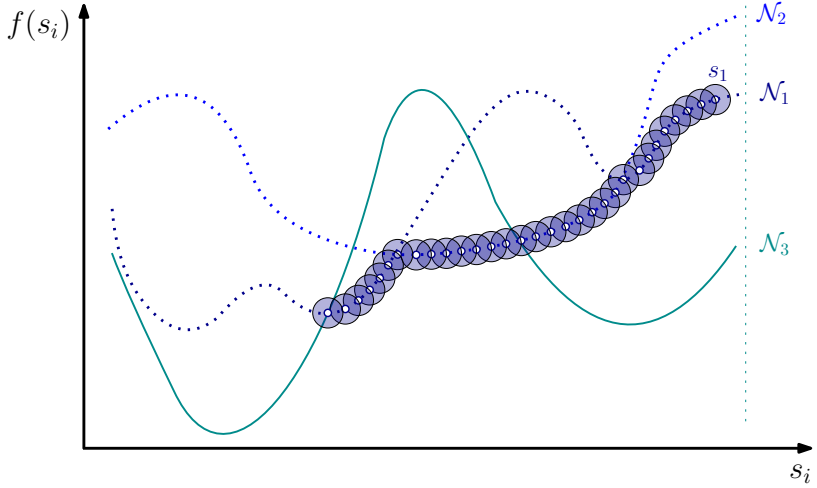
E intensificamos novamente.

VND - Fitness landscape



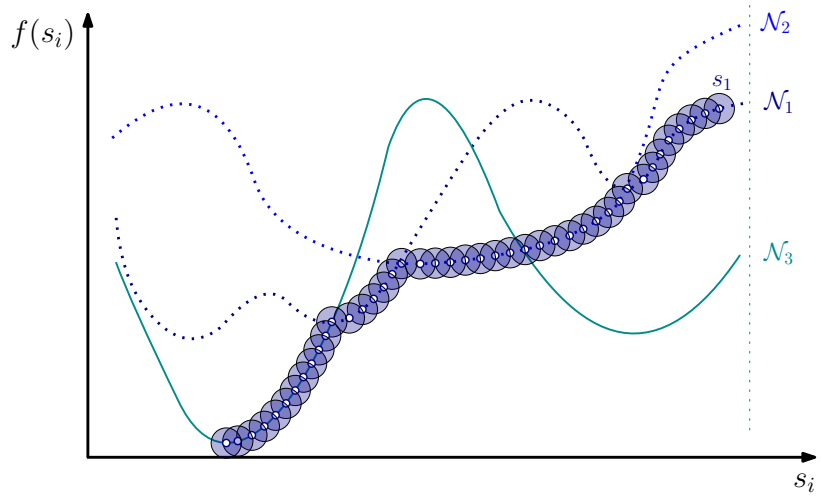
Novamente ativamos $\mathcal{N}_2$, que não produz melhoria.

VND - Fitness landscape



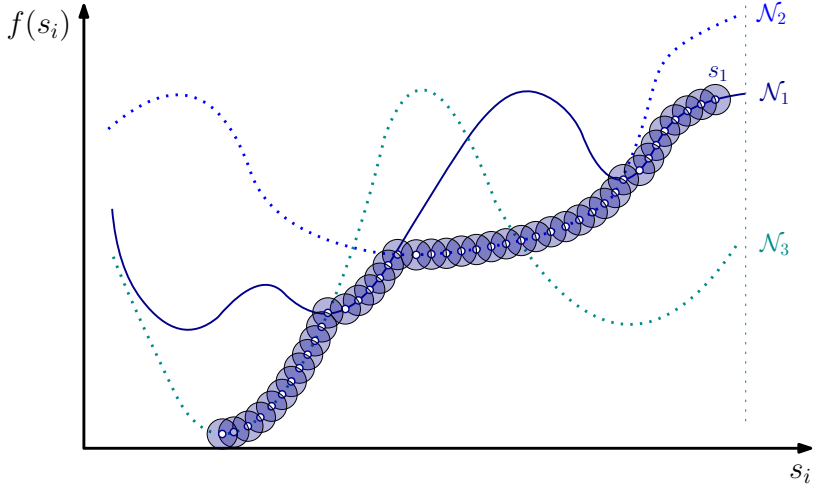
Ativamos então $\mathcal{N}_3$.

VND - Fitness landscape



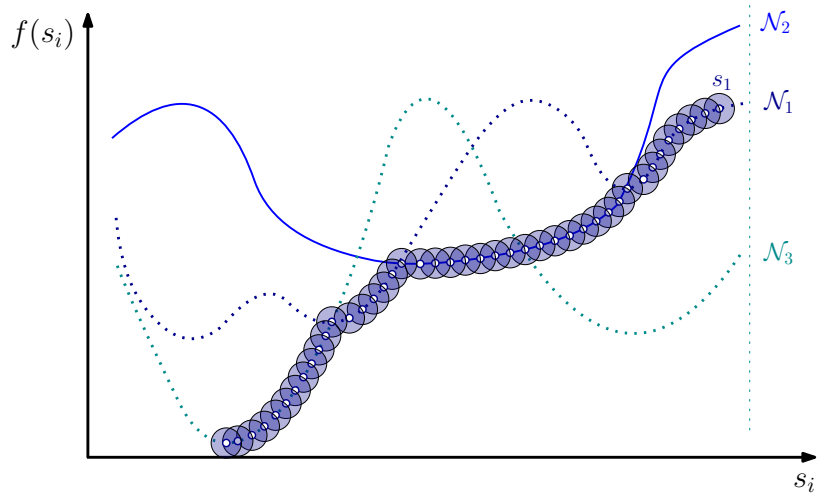
E intensificamos, melhorando a solução.

VND - Fitness landscape



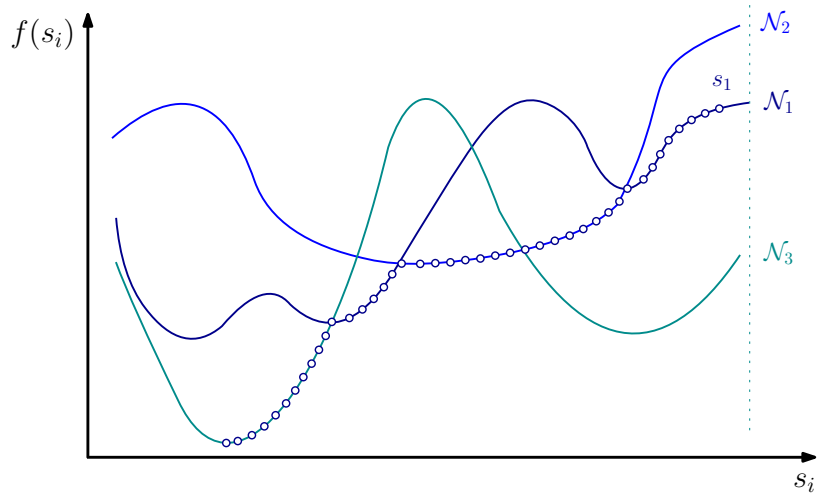
Como houve melhoria, voltamos para $\mathcal{N}_1$ (sem melhoria).

VND - Fitness landscape



E em seguida para $\mathcal{N}_2$ (sem melhoria).

VND - Fitness landscape



Assim, nenhuma das vizinhanças produziu melhoria, de forma que o algoritmo é finalizado.

VND - Pseudocódigo

Pseudocódigo

Abaixo segue um pseudocódigo template do VND.

Algorithm 2 Template genérico VND

$s_0 = \text{GeraSolInicial}()$ ▷ Gera uma solução inicial
$l = 1$
while $l < l_{max}$ **do**
    $s' = \text{BuscaLocal}(\mathcal{N}_l, s_0)$
    if $f(s') < f(s_0)$ **then**
        $s_0 = s'$
        $l = 1$
    else
        $l = l + 1$
    end if
end while
return melhor s. ▷ Melhor s deve ser armazenada

Atividades

Exemplo - TSP

EXEMPLO: Implemente um algoritmo ILS para a resolução do TSP com as seguintes características:

1. Intensificação: busca local com 2-opt
2. Perturbação: SWAP e reinício aleatório (2 algoritmos diferentes)

EXEMPLO: Implemente um algoritmo VND para a resolução do TSP com as seguintes estruturas de vizinhanças: 2-OPT, SWAP e 1-SHIFT (leia no artigo) 1993 - Further results on the probabilistic traveling salesman problem- Bertsimas

Use as instancias do TSPlib para verificar a sua eficácia. Lembre de rodar diversos testes para calibrar os parâmetros do algoritmo.

Atividade I

1. Qual o principal componente do **ILS** que o permite sanar a deficiência da busca local?
2. Quais são os parâmetros do **ILS** que devem ser calibrados?
3. Qual o principal componente do **VND** que o permite sanar a deficiência da busca local?
4. Considerando o artigo 2000 - A study of exponential neighborhoods for the Traveling Salesman Problem - Daineko, Woeginger, entenda como funciona a vizinhança **ASSIGN**. Qual é a relação da vizinhança com o problema da designação? Faça um esboço de como isso funciona.
5. Considerando os pseudocódigos do ILS e do VND. Pense em um design de algoritmo que **combine características** dos dois algoritmos.

Atividade I

Algorithm 3 Template genérico VND

$s_0 = \text{GeraSolInicial}()$; $l = 1$ ▷ Gera uma solução inicial
while $l < l_{max}$ **do**
  $s' = \text{BuscaLocal}(\mathcal{N}_l, s_0)$
  if $f(s') < f(s_0)$ **then**
    $s_0 = s'$;
    $l = 1$
  else
    $l = l + 1$
  end if
end while
return melhor s. ▷ Melhor s deve ser armazenada

Algorithm 4 Template genérico ILS

$s_0 = \text{GeraSolInicial}()$ ▷ Gera uma solução inicial
$s_* = \text{Intensificacao}(s_0)$ ▷ Busca local
repeat
  $s' = \text{PerturbaSol}(s_*)$
  $s'_* = \text{Intensificacao}(s')$
  $s_* = \text{CriterioDeAceite}(s_*, s'_*)$ ▷ Aceita s'_* ou não
until Criterio de parada
return melhor s. ▷ Melhor s deve ser armazenada

Atividade II

1. Considerando o seu problema escolhido para a disciplina. Encontre 2 artigos científicos que usam ILS ou VND (ou usam ILS/VND como uma parte de outro algoritmo) para resolver o problema.