# Lab CES12 - 2024
# Variações de algoritmos de ordenação

## Objetivo:

Implementar variações de algoritmos de ordenação, realizar comparações e entender os resultados.

## Implementações:

Todos os algoritmos de ordenação possuem um segundo parâmetro para calcular estatísticas. Os campos que vocês ***devem*** medir e preencher são:

`stats.recursive_calls`, que conta o número de chamadas recursivas.
`stats.depth_recursive_stacks`, a profundidade da pilha de recursão.

Para entender a diferença, pense na árvore de recursão: `recursive_calls` deve ser o número de nós na árvore, `depth_recursive_stacks` deve ser a altura da árvore.

Também *podem* preencher o campo `stats.custom1`, que é um campo reserva, disponível caso apareça a necessidade de uma medida adicional, ou prefiram usar como variável auxiliar para qualquer propósito.
Os outros campos serão preenchidos pelo próprio testador.

```
void myquicksort_2recursion_medianOf3(std::vector<int> &v
                                      , SortStats &stats);
void myquicksort_1recursion_medianOf3(std::vector<int> &v
                                      , SortStats &stats);
```

Variações de quicksort com uma e duas chamadas recursivas, pivô sendo a mediana de 3.

```
void myquicksort_fixedPivot(std::vector<int> &v, SortStats &stats);
```

Quicksort com pivô em índice fixo (sempre o primeiro elemento. Não queremos usar sempre o elemento do meio, pois seria bom para o caso Almost Ordered - queremos que este seja o “primo pobre” ).

```
void myradixsort(std::vector<int> &v, SortStats &stats);
```

Radix sort, é preciso implementar com operações bit-a-bit, leia a dica

```
void mymergesort_recursive(std::vector<int> &v, SortStats &stats);

void mymergesort_iterative(std::vector<int> &v, SortStats &stats);
```

As duas implementações de mergesort discutidas na aula

# Relatório: Comparações

Para cada uma **apresente gráficos**, *compare os valores de tempo de execução* e ***explique o resultado***

- Os tempos de execução devem corresponder aos esperados pela teoria. Espera-se que a diferença entre um algoritmo quadrático e outro O(nlogn) seja claramente visível.
- No caso de algoritmos recursivos, a comparação ***deve*** levar em conta o número de chamadas recursivas realizadas e a profundidade da pilha (a profundidade da pilha é especialmente importante para comparar variações de quicksort).
- Ao comparar algoritmos, inclusive ao comparar um algoritmo iterativo com outro recursivo, a comparação é **multiobjetivo** - tempo de execução e memória - alocada como variável local ou na pilha de execução. Um algoritmo pode ganhar em uma medida e perder na outra.
    - Um algoritmo iterativo não gasta memória na pilha de execução, mas pode alocar memória.
    - Não considere ou conte alocação de memória O(1), ou seja, qualquer conjunto limitado de variáveis locais cujo tamanho não depende do tamanho do vetor de entrada.
    - Como o número de chamadas recursivas conta todos os nós da árvore de recursão, normalmente ele se correlaciona mais com o tempo de execução do que com o gasto de memória na pilha, pois este último corresponde à altura da árvore de recursão.
- *Note que o testador já gera um arquivo .csv com os valores da struct de estatísticas, incluindo a medida de tempo de execução e os dois campos que devem ser preenchidos pelo aluno.*
    - *Ou seja, na prática o aluno apenas precisa implementar as próprias funções de ordenação ( inclusive, preencher os campos indicados na struct de estatísticas ).*

## Q1 QuickSort X MergeSort-Iterativo X RadixSort x std::sort

Considere apenas a versão mais rápida do QS.
importante considerar:
Tempo de Execução;
Gasto de memória:  a árvore de recursão ;  memória alocada ; tamanho da pilha
p/ o std::sort considere apenas o tempo de execução - serve como referência de ordem de grandeza.

## Q2 MergeSort: Recursivo x Iterativo

importante considerar:
Tempo de Execução;
Gasto de memória:  a árvore de recursão ;  memória alocada ; tamanho da pilha

## Q3 QuickSort com 1 recursão  x QuickSort com 2 recursões

importante considerar:
Tempo de Execução;
Gasto de memória:  a árvore de recursão ;  memória alocada ; tamanho da pilha

## Q4 QuickSort com mediana de 3 x Quicksort com pivô fixo para vetores quase ordenados

Considerar o caso de entrada aleatória **E** (AND, &&, both, ambos) o caso quase-ordenado. O caso quase-ordenado é chamado de AO (Almost Ordered) no código.

### Gráficos

Não há uma regra absoluta para formatação dos gráficos, mas:

- Devem ser legíveis no pdf, não só na tela do seu matlab. Cuidado com figuras pequenas com linhas coloridas finas e indistinguiveis, ou legendas e labels com fontes pequenas demais. Há propriedades de configuração nas funções plot ou axis do matlab, e.g. `plot(x,y,'LineWidth',3)`
- Devem conter legendas, labels, unidades, para deixar claro o que é mostrado, não espere que o professor infira o que aconteceu!
- O propósito dos gráficos é ilustrar e **justificar** a explicação do resultado. Um exemplo de erro comum é argumentar textualmente sobre a diferença da performance dos algoritmos para tamanhos pequenos e grandes, enquanto a escala do gráfico é grande demais para observar o que acontece para tamanhos pequenos.
    - Quero saber se o aluno realmente viu o que discute no texto.

# Relatório: Q5 Questão sobre caso real:

Atenção: A pergunta fornece um contexto, não importam outras situações.

Caso real de opinião de engenheiro: "*Pode estar demorando muito por culpa da implementação de quicksort da libc [aqui poderia ser outra famosa lib de propósito geral], como alguns dos nossos dados já vem mais ou menos ordenados, fica perto de quadrático*". Certamente é possível, mas é plausível ou esperado que uma biblioteca importante, antiga, muito utilizada e bem testada, e de propósito geral, implemente quicksort da forma citada? Em outras palavras, você, como chefe de equipe de desenvolvimento, aprovaria um quicksort quadrático p/ dados quase ordenados em um projeto real de desenvolvimento de uma lib de propósito geral, **considerando o custo-benefício das alternativas concretas de implementação**? O custo-benefício deve considerar a dificuldade adicional de implementação e teste (será implementado e testado de qualquer forma), o custo computacional em processamento e memória, e os potenciais ganhos e perdas nos casos mais plausíveis para uma lib de propósito geral. Justifique.

Aviso: a questão 5 é original e o chat-gpt reencarna o Rolando Lero e repete exaustivamente o óbvio no abstrato sem tomar uma decisão nem analisar as alternativas concretas.

# Nota:

Testes em "SmallTest" não valem nada (com 10 elementos é apenas para ajudar a debugar)
Testes em STL_Tests não valem nada (afinal, testam a função sort da STL. Estes testes servem para garantir que as funções de teste passam se a ordenação funcionar, ou seja, para diminuir a possibilidade de bug nos testes)

Cada teste em "SortTest" vale 1 ponto.
Cada comparação bem explicada e questão bem respondida, vale 1 ponto.

A soma máxima possível de pontos nos testes vale 5
A soma máxima possível de pontos nas questões vale 5.

Há alguns testes com vetores de tamanho fixo 1K que estão comentados. Os testes com vários tamanhos devem ser mais relevantes.

# Libs auxiliares

STL liberada, exceto soluções prontas para resolver diretamente o propósito do exercício (especialmente std::sort). Em caso de dúvida, pergunte.

# Importante:

## Executar apenas alguns testes:

```
lgm@lgmita:~/labSort/build$ ./labSorttests --gtest_filter=Small*
```

Opção do gtest permite filtrar os testes a serem executados. O exemplo acima, executa apenas os testes com Small no nome, i.e., apenas os testes com vetor de 10 elementos. ***Sugiro que comecem assim, para verificar que o algoritmo funciona,*** e só depois, executem sem a opção para executar os testes com 1000 elementos e contar o tempo.
A vantagem: a tela não é poluída com a saída de erro dos testes maiores (que mostra exemplos de ordenação errada com tamanho 1000), e fica fácil verificar exatamente qual foi o vetor que causou falha no seu algoritmo.

(a opção `--help` lista todas as opções disponíveis no executável. Essas opções são definidas pelo gtest, não no meu código)

## Radixsort com bitmasks (usar inteiros perde nota)

Primeiro, rationale:

1. Não faz sentido comparar o Radixsort sem uma implementação decente, pois naturalmente ele tem constantes maiores.
2. No nosso exemplo o valor máximo de cada elemento é o tamanho do vetor, não consideramos todos os valores possíveis de inteiros até MAXINT.

Poderia-se pensar em implementar o radix sort usando os dígitos decimais.
123, 456, 765, seriam separados primeiro pelos dígitos das unidades, depois pelas dezenas, etc.
Mas isso implica em realizar aritmética inteira para encontrar os valores destes dígitos.
E.g.: (123 % 100) resulta em 23, depois (23 / 10) resulta em 2 se a divisão for inteira.

É mais rápido pensar em binário! Sabendo o tamanho máximo do número, temos o número de bits a serem considerados.
Usamos uma máscara binária para separar grupos de bits do número, e.g.:
`(valor & 0xF0)` separa os bits 7,6,5,4 de `valor`, ou seja, separa um dígito hexadecimal de `valor`.
Usando o operador >> 4 para deslocar estes números para a direita 4 casas, temos um dígito hexadecimal do número, um valor entre 0 e 15 que podemos usar para indexar 16 filas do radixsort. Da mesma forma que separamos o dígito 2 de 123 no exemplo acima, só que mais fácil devido aos operatores bit-a-bit.

Como estas operações serão repetidas muitas vezes, usar >> e && ao invés de % e / deve ser mais rápido.

Note que no exemplo acima, a máscara separa 4 bits. Poderíamos separar apenas 3 bits, e teríamos 8 filas.

UPDATE: Pra deixar mais claro:
O objetivo é separar conjuntos de bits do número sem realizar operações inteiras.
Se quer os 4 bits menos significativos (digamos bits 3,2,1,0), basta fazer ( valor & 0x0F )
Depois, para os próximos 4 bits, (bits 7,6,5,4), precisa calcular ( valor & 0xF0 ) - mas como o resultado estará nos bits (7,6,5,4), precisa shiftar >> 4 bits pra direita para ter um número entre 0 e F que possa ser usado como índice.
A próxima máscara seria 0xF00, para separar os bits (11,10,9,8), e o resultado precisaria shiftar 8 bits. E assim por diante.
Como a própria máscara pode ser shiftada (<<) para gerar a próxima máscara, e o número de casas que o resultado precisa ser shiftado também segue uma regra simples, um loop simples resolve a separação do número em grupos de bits para indexar as listas do radixsort.
E sabemos quando o loop termina, pois o tamanho máximo dos valores a serem ordenados (e portanto o número de bits necessários para representar quaisquer dos valores) é conhecido.

Não sei qual a melhor quantidade de buckets ou tamanho em de bits da máscara. Empiricamente, uma máscara de 2 bits (4 buckets), ou 1 bit (2 buckets), é pouco, e isso afetaria os resultados prejudicando o Radix Sort. Os melhores resultados até agora usaram entre 3 e 5 bits (8, 16 ou 32 buckets).

Não pretendo fornecer o pseudo-código completo, é a idéia, pra vocês pensarem e implementarem.

## Funções recursivas separadas, não if-else na recursão

Há várias variações de um algoritmo recursivo a serem implementadas. Compare os pseudos-códigos:

```
funcao_recursiva(entrada, variacao)
If (variacao == “nome da 1a variacao do algoritmo”
      Implementacao da 1a variacao
      funcao_recursiva(entrada, variacao)
elseif (variacao == “nome da 2a variacao do algoritmo”
      Implementacao da 2a variacao
      funcao_recursiva(entrada, variacao)
endif
```

---

```
funcao_recursiva_variacao1 (entrada, variacao) {
      Implementacao da variacao1
      funcao_recursiva_variacao1 (entrada, variacao)
}
```

```
funcao_recursiva_variacao2 (entrada, variacao) {
      Implementacao da variacao2
      funcao_recursiva_variacao2 (entrada, variacao)
}
```

O problema da primeira versão, ***é o gasto de tempo artificial em um if-else que não existe na prática*** quando um dos algoritmos for implementado e ***que é executado a cada chamada recursiva***. E o *código fica misturado, um mesmo código trata de algoritmos diferentes*. Além de ser estranho, a princípio não há razão para os algoritmos existirem juntos, estamos apenas comparando.  Já forneci headers diferentes para cada variação, é mais realista deixar as implementações separadas. Partes comuns a ambos os algoritmos podem ser implementadas como funções auxiliares.

# Formatos

## NOME DE ARQUIVO

`<nome_do_algoritmo>_MS_[RAND|AO]_<step_size>_<max_size>`

RAND: vetor com permutação aleatória de 1 a n
AO: vetor quase ordenado
Serão testados tamanhos de `step_size` a `max_size`, variando em passos de tamanho `step_size`.

## FORMATO DE ARQUIVO

O operador que coloca a struct SortStats em stream é este:

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& stream,
                         const SortStats& st) {
      if (!st.name.empty()) stream << st.name << ", ";
      stream << std::scientific << st.ms_time << ", " <<
st.number_runs << ", " << std::fixed << st.vector_size << ", " <<
std::scientific << st.recursive_calls << ", " <<
st.depth_recursion_stack << ", " << st.custom1 << std::endl;
      return stream;
 }
```

Não estou imprimindo o nome para os testes ManySizes. O que significa que a ordem dos campos na linha é:
TIME, NUMBER_RUNS, VECTOR_SIZE, RECURSIVE_CALLS, DEPTH_RECURSIVE_STACK, CUSTOM1
Onde

- NUMBER_RUNS é o número de repetições, ou seja, ordenações com exatamente os mesmos parametros.

- TIME, RECURSIVE_CALLS, DEPTH_RECURSIVE_STACK, CUSTOM são média dos valores para NUMBER_RUNS execuções com o mesmo tamanho VECTOR_SIZE.
- CUSTOM1 é reserva e não é setado pelo testador. Se precisar medir algo diferente, podem usar.
- RECURSIVE_CALLS e DEPTH_RECURSIVE_STACK são os que vocês devem setar.

# FAQ

## Pode usar queue da std no radix sort?

Sim. O rationale é não precisar mais implementar manualmente estruturas lineares como filas, pilhas, vetor, etc. Nesse momento aprendem mais usando a STL pra isso. Lembrem que as estruturas da stl tem uma política de alocação, pré-alocar inteligentemente deve deixar o código mais rápido.

## Demos tomar a mediana de 3 em cada recursão? Ou só uma vez no vetor inicial?

Sim, em cada recursão. Queremos comparar o quicksort aprimorado, com mediana de 3, versus o quicksort 'primo pobre' com pivo fixo. Não faz sentido poder ser quadrático nas recursões internas.

## Tomar a mediana dos 3 primeiros elementos ou do elemento inicial, do meio e final?

O que pode fazer diferença entre essas duas opções é a distribuição dos dados. Nos exemplos quase ordenados, certamente usar os 3 primeiros elementos é bastante estúpido. Supondo que há chance razoável de valores próximos estarem em posições próximas, então usar início, meio e fim deve ser melhor, é a solução mais comum.

## O que são "opções" de um executável? Como executar todos os testes?

Desde o tempo do DOS e Unix (antes de existir Linux ou Windows), a libc já tinha API para parsear "options" ao se executar um arquivo executável, usando uma sintaxe `./nome_do_arquivo -opcao` (com um ou 2 caracteres '-') como no exemplo acima. Quando o gtest linka o meu código com a `main()` do gtest, está incluído no código do gtest o parseamento e processamento das opções do gtest - por exemplo, pode-se indicar quais testes serão executados.
**O nome do executável sozinho (sem opções) significa a execução default.**
Por curiosidade uma das APIs existentes é esta:
https://www.gnu.org/software/libc/manual/html_node/Getopt.html
É só um parseador esperto para os parâmetros `main(int argc, char **argv)` que existem em toda função `main()` em C.
Quem nunca viu isso, experimente:

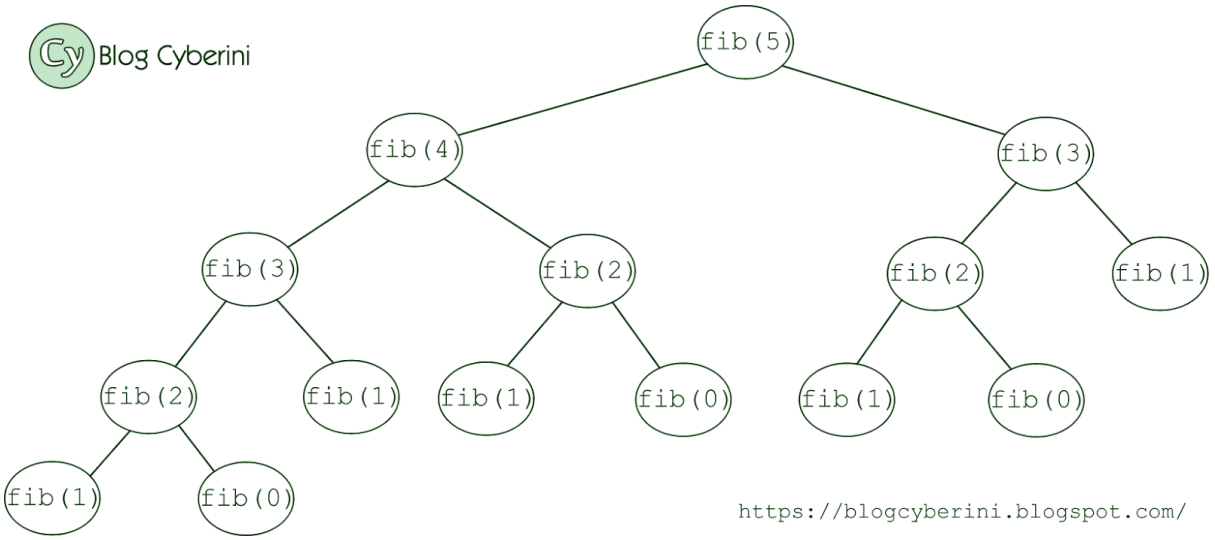
`ls --help`
O próprio comando ls tem um texto listando as suas opções, e o mesmo vale para a maioria dos comandos unix.

## Pq o CLion pinta o #include <gtest/gtest.h> de vermelho no código?

Não usei o CLion, é só um chute, mas pode ser:
Como o gtest esta dentro do diretorio build, e o download do gtest é feito durante a propria compilação, pode ser que o editor de texto do CLion (a janelinha e os programas associados) não saibam onde está o gtest, mesmo que na hora de compilar o cmake encontre o gtest.

## Não entendi o que é profundidade da pilha de recursão x número de chamadas recursivas

Exemplo simples de uma árvore de recursão, usando a solução recursiva, simples, para calcular série de fibonacci:




Para resolver fib(5) chama-se fib(4) e fib(3), e assim por diante. O número de chamadas recursivas é o número de nós da árvore (15 no exemplo); e a profundidade da pilha de recursão é a altura máxima da árvore (5 no exemplo). Claro que existem soluções melhores para calcular fibonacci, mas o ponto aqui é só mostrar um exemplo de árvore de recursão, e ilustrar o que exatamente são ‘profundidade da árvore’ e 'número de nós da árvore’.

## É permitido adicionar  como argumentos das funções de ordenação as posições de início e de fim ? Ou eu preciso manipular por meio de iteradores?

Não pode mudar o cabeçalho, até porque o teste falhará. Também não faz sentido que o usuário de uma lib de ordenação precise enxergar argumentos internos, portanto os cabeçalhos contém apenas os parâmetros que um usuário da sua biblioteca precisaria ver. Pode criar funções auxiliares com outros cabeçalhos, ou criar objetos a serem usados dentro das funções, o que quiser.

Não precisa replicar todas as funcionalidades (e.g. iteradores) e  parametrizações da ordenação da libc, nem precisa criar classes ou templates similares à implementação da libc, mas quem quiser implementar algum destes aspectos para aprender, tudo bem, é um bom exercício. Alunos já implementaram com sucesso, inclusive conseguiram manter a mesma interface do meu código que chama a std::sort.

### O Radix Sort não teria chance se os valores não fossem sempre < n!

Exato. Se o Radix Sort fosse O(n) sempre, seria um algoritmo de comparação baseado em comparações ótimo, geral, e linear. Sabem desde CES12 que existe um limitante Ω(n log n) para qualquer algoritmo de ordenação geral baseado em comparações.
Compare as seguintes situações, dado um arquivo com a população brasileira, 200 milhões de registros.  Queremos ordená-lo por:

a) Número de CPF
b) Mês de nascimento, primeiro quem nasceu em janeiro, etc…

Em uma delas o radix sort seria mais adequado, certo?

## Bloopers de anos anteriores (o que não fazer)

### Use as minhas funções auxiliares, ou crie as suas. Evite bugs bobos.

Um aluno, ao invés de usar a minha função troca(), implementou manualmente, várias vezes, com copy-paste no código, aquelas 3 linhas famosas entre o bixaral:
`aux=v[j]; v[j] = v[i]; v[i] = aux;`
Só que houve um erro no código em uma das trocas, e o pivô do QS foi escolhido errado. Ordenou corretamente, mas o QS ficou sempre quadrático e os dados não faziam sentido.

### Passar no teste ≠ implementação correta

Veja o exemplo acima. Mesmo um QS quadrático pode ordenar perfeitamente. Entenda o que o teste faz e não faz, para evitar ilusões.

### STL não é mágica, isso inclui std::string

A classe std::string, apesar de não ser filha de std::vector, também é implementada internamente como um vetor de char. Passar um std::string como parâmetro por valor em uma função recursiva, inclui alocar uma nova string como variável local, e alocar espaço para o conteúdo e copiar todo o conteúdo a cada chamada recursiva. Strings devem ser passadas como referência!

```
….sort...(std::string s, ….)   // s argumento por valor

….sort...(std::string &s, ….)  // s argumento por referencia
```

A segunda função recursiva pode ser várias vezes mais rápida para o mesmo algoritmo.

### Cuidado com vetores auxiliares, onde eles são alocados?

Qualquer vetor auxiliar precisa ser alocado (Mergesort?). Se o vetor for alocado como variável local a cada chamada, para cada nó da árvore de recursão haverá uma alocação e desalocação. Isso aumentará **MUITO** o tempo de execução. Vide o item sobre argumentos string acima.

### Cuidado em adaptar algoritmos existentes. Onde está o pivô?

Por exemplo, se o algoritmo de Quicksort supõe que o pivô está na posição indicada pela variável left, não adianta escolher um pivô em outra posição sem adaptar a idéia.
Por exemplo, se o seu pivô está na posição middle, então precisaria usar troca(v,left, middle) antes de executar o algoritmo do jeito que está, ou adaptar o algoritmo.
Ou seja, não adianta copy-paste de código sem entendê-lo.

### ⚠️Cuidado com recursão: há funções com nomes parecidos!⚠️

Alunos obtiveram resultados completamente errados com o seguinte erro: existem várias versões de quicksort, que correspondem a várias funções com nomes myquicksort<something>. **Verifique se as chamadas recursivas no corpo de uma função, chamam a mesma função ao invés de chamar outra!** E.g., se dentro de `myquicksort_2recursion_median0f3` for chamada `myquicksort_1recursion_median0f3`, os resultados estarão errados!

## VERSÃO 220401

- Novas receitas de cmake para versão nova, mantendo as velhas
- Novas asserções em teste small para tamanho 0,1,2

## VERSÃO 200423

Bugfix nos testes: antes testava 5x com o mesmo vetor. Agora testa com 5 vetores diferentes. Se alguém usou a versão anterior, tem que gerar os dados novamente.