

## SUDOKU

PROFESSOR: ADELARDO ADELINO DANTAS DE MEDEIROS

O objetivo é desenvolver em C++ um programa capaz de permitir que o usuário preencha tabuleiros de Sudoku manualmente, utilizando uma interface amigável, baseada em Qt (widgets e menus). O aplicativo também deverá ser capaz de, quando solicitado, resolver o tabuleiro automaticamente ou indicar que não existe solução. A resolução automática deverá ser feita utilizando as estruturas de dados da biblioteca STL de C++.

### ALGORITMO

O algoritmo em pseudocódigo listado a seguir pode ser útil no desenvolvimento do resolvidor automático de Sudoku. Ele resolve o problema utilizando uma técnica de busca em profundidade conhecida como *backtracking*.

```
// Cria conjunto inicial vazio
Conjunto<Sudoku> Aberto

// Inicializa o conjunto contendo
// apenas o tabuleiro inicial
inserir(Aberto, tab_inicial)

num_testados ← 0
encontrou_solucao ← false

// Iteração: repita enquanto houver
// tabuleiros ainda não testados
// em Aberto e ainda não houver
// encontrado a solução
Repita
| tab ← extrai_elemento(Aberto)
| num_testados++
| // Testa se é solução
| Se ( é_solução(tab) )
| | encontrou_solucao ← true
| Caso contrário
| | // Gera sucessores de tab
| | // Inicialmente, determina a
| | // primeira casa vazia de tab
| | pos ← prim_casa_vazia(tab)
| | // Em seguida, gera e testa
| | // todos os valores possíveis
| | // para preencher essa casa
| | Para val de 1 a 9
| | | // Testa se pode preencher
| | | // a casa pos do tabuleiro
| | | // tab com o valor val
| | | Se ( é_válido(tab, pos, val) )
| | | | // Gera novo tabuleiro:
| | | | // sucessor de tab fazendo
```

```
| | | | // valor de pos igual a val
| | | | suc ← faz_jogada(tab,
| | | | pos, val)
| | | | // Insere sucessor em
| | | | // Aberto
| | | | inserir(Aberto, suc)
| | | Fim Se
| | Fim Para
| Fim Se
| // Caso queira exibir o estado
| // parcial do algoritmo:
| exibir(tab)
| exibir(num_testados)
| exibir(tamanho(Aberto))
Enquanto ( not(encontrou_solucao)
and not(vazio(Aberto)) )

// Pode ter terminado porque
// encontrou a solução ou porque
// não há mais tabuleiros a testar
Se ( not(encontrou_solucao) )
| exibir("Sudoku sem solução")
| exibir(num_testados)
Caso contrário
| exibir("SOLUÇÃO:")
| exibir(tab)
| exibir(num_testados)
| exibir(tamanho(Aberto))
Fim Se
```

A tabela a seguir apresenta uma evolução das variáveis do algoritmo em uma situação envolvendo um tabuleiro reduzido de Sudoku (blocos de 2×2, ao invés do bloco normal de 3×3). Também é apresentado um fluxograma dos tabuleiros com seus sucessores.

Tabuleiro analisado	Aberto (após inclusão dos sucessores do tabuleiro sendo analisado)				Nº de sucessores																																																																								
-	<table><tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>		2					1		4			3				-																																																												
	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td></td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>		2					1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2					1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3			2																																				
	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2					1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3				1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		2																								
1	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3				1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4			1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																								
1	2	3																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4			1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3		1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																								
1	2	3	4																																																																										
		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3		1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																								
1	2	3	4																																																																										
3		1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																								
1	2	3	4																																																																										
3	4	1																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2				4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																				
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2																																																																													
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	1			4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	1	4		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3			4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3	2
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	1																																																																												
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	1	4																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3																																																																												
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	1			4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	1	4		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3			4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3	1
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	1																																																																												
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	1	4																																																																											
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3																																																																												
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3			4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4		4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3																																																																												
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4																																																																											
4			3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4	1	4			3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4	1	4	1		3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4	1																																																																										
4			3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4	1																																																																										
4	1		3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4	1	4	1	2	3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4	1	4	1	2	3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		1																
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4	1																																																																										
4	1	2	3																																																																										
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4	1																																																																										
4	1	2	3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										
<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>1</td></tr><tr><td>4</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></table>	1	2	3	4	3	4	1	2	2	3	4	1	4	1	2	3	<table><tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	1	2	4				1		4			3	<table><tr><td>3</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td>3</td></tr></table>	3	2					1		4			3		-																																	
1	2	3	4																																																																										
3	4	1	2																																																																										
2	3	4	1																																																																										
4	1	2	3																																																																										
1	2	4																																																																											
		1																																																																											
4			3																																																																										
3	2																																																																												
		1																																																																											
4			3																																																																										

