

1. Padrões	5
2. Tabela ASCII.....	6
3. STL.....	7
3.1. Map.....	7
3.2. Set.....	7
3.3. Queue.....	7
4. Ordenação	8
4.1. Ordenação crescente de vetor	8
4.2. Ordenação crescente de struct	8
5. Números Primos	9
5.1. Números Primos até 10.000	9
5.2. Quantidade de números primos de 1 a 10^N	10
5.3. Fatorial	10
5.4. Limites de tipos de dados	10
6. Grafos	11
6.1. Depth First Search (DFS)	11
6.2. Breadth First Search (BFS)	12
6.3. Floyd-Warshall	12
6.4. Floyd MinMax.....	13
6.5. Dijkstra	13
6.6. Bellman-Ford.....	14
6.7. PRIM	14
6.8. Kruskal	15

6.9. Ordenação Topológica	15
6.10. Biconectividade.....	16
6.11. Bipartição.....	17
6.12. Número de caminhos distintos em um DAG	17
6.13. Fluxo Máximo - Edmonds-Karp	18
6.14. Componentes Fortemente Conectados.....	19
6.15. Karp	19
6.16. Ciclo Euleriano.....	20
7. Programação Dinâmica	24
7.1. Longest Increasing Subsequence - LIS.....	24
7.2. Longest Common Subsequence - LCS.....	24
7.3. Matrix Chain Multiplication - MCM	25
7.4. Knapsack - problema da mochila binária	25
7.5. Edit Distance	26
7.6. Máxima soma de subconjunto $\leq N$	27
7.7. Coins Change.....	28
7.8. Coins Ways.....	29
7.9. Maximum Interval Sum	29
7.10. Mochila Fracionária	30
8. Geometria	31
8.1. Distância de ponto a ponto	31
8.2. Distância de ponto a reta	31
8.3. Produto Escalar	31
8.4. Produto Vetorial	31

8.5. Área do triângulo com sinal	31
8.6. Dois pontos para equação da reta	31
8.7. Reta perpendicular à reta.....	32
8.8. Ponto de intersecção entre duas retas.....	32
8.9. Intersecção de segmentos	32
8.10. Centro da circunferência dado 3 pontos.....	33
8.11. Distância esférica	33
8.12. Ponto no polígono	34
8.13. Área do Polígono.....	34
8.14. Convex Hull	35
9. Matemática Geral	37
9.1. Primalidade.....	37
9.2. Exponenciação.....	37
9.3. BigInt	37
9.4. Módulo com BigInt.....	39
9.5. BigMod	39
9.6. Combinatória $C(n,k)$ com n e k grandes	40
9.7. Quantidade aproximada de primos $\leq N$	40
9.8. Fibonacci com BigInt	41
9.9. Manipulação de bits: Decimal para binário.....	42
9.10. Crivo de Eratóstenes - Sieve.....	42
9.11. Segment Sieve - Números primos em um intervalo	43
9.12. Fatores Primos de um número.....	43
9.13. GCD.....	44

9.14. GCD/LCM	44
9.15. Método Newton-Raphson	45
10. Busca	46
10.1. Knuth-Morris-Pratt	46
10.2. Binary Search	46
10.3. Ternary Search	46
10.4. Segment Tree	47

1. Padrões

Template

```
#include <iostream>
#include <cstdio>
#include <cstdlib>
#include <string>
#include <cstring>
#include <cmath>
```

```
#include <vector>
#include <stack>
#include <queue>
#include <map>
#include <set>
#include <algorithm>
```

```
#define MIN(a,b) ((a) < (b) ? (a) : (b))
#define MAX(a,b) ((a) > (b) ? (a) : (b))
#define ABS(a) ((a) > 0 ? (a) : (-a))
```

```
#define FOR(i,v,n) for(int i=v,_n=n;i<_n;++i)
#define FORD(i,v,n) for(int i=(n-1),_v=v;i>=_v;--i)
#define REP(i,n) FOR(i,0,n)
#define REPD(i,n) FORD(i,0,n)
```

```
#define FOREACH(it,c) for(__typeof((c).begin())
it=(c).begin();it!=(c).end();++it)
#define MP(a,b) make_pair((a),(b))
#define ALL(c) (c).begin(),(c).end()
#define PB push_back
#define MAX_V
#define MAX_A
#define INF 2147483647
#define PRINT(x) x
```

```
const double PI = acos(-1.0);
```

```
using namespace std;
```

```
int main(){
    return 0;
}
```

Definição de struct

```
typedef struct{
    ...
} TReg;
```

O nome da estrutura deve começar sempre com um 'T' (de tipo) seguida do nome começando em maiúscula. Geralmente quando eu não sei que nome dar, eu ponho TReg mesmo.

Leitura de string até EOF

```
while(cin.getline(str, MAXLINE))
    cout << str << endl;
```

sscanf(char *input, char *format, variables)

Usa a variável input como entrada, usando o formato passado e armazena os valores nas variáveis

```
while(sscanf(line, "%d %d %d", &s, &t, &w) == 3)
    printf("%d %d %d", s, t, w);
```

sprintf(char *output, char *format, variables)

Utiliza as variáveis de entrada, usando o formato passado, para armazenar em output. Obs: não imprime na tela.

```
sprintf(line, "%d %d %d", a, b, c);
printf("%s\n", line);
```

2. Tabela ASCII

Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char	Decimal	Hex	Char
0	0	[NULL]	32	20	[SPACE]	64	40	@	96	60	`
1	1	[START OF HEADING]	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	2	[START OF TEXT]	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	3	[END OF TEXT]	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	4	[END OF TRANSMISSION]	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	5	[ENQUIRY]	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	6	[ACKNOWLEDGE]	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	7	[BELL]	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	8	[BACKSPACE]	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	9	[HORIZONTAL TAB]	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	A	[LINE FEED]	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	B	[VERTICAL TAB]	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	C	[FORM FEED]	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	D	[CARRIAGE RETURN]	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	E	[SHIFT OUT]	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	F	[SHIFT IN]	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	[DATA LINK ESCAPE]	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	[DEVICE CONTROL 1]	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	[DEVICE CONTROL 2]	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	[DEVICE CONTROL 3]	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	[DEVICE CONTROL 4]	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	[NEGATIVE ACKNOWLEDGE]	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	[SYNCHRONOUS IDLE]	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	[ENG OF TRANS. BLOCK]	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	[CANCEL]	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	[END OF MEDIUM]	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	[SUBSTITUTE]	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	[ESCAPE]	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	[FILE SEPARATOR]	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	[GROUP SEPARATOR]	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	[RECORD SEPARATOR]	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	[UNIT SEPARATOR]	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	[DEL]

3. STL

3.1. Map

Declaração

```
map<string, int> m;
map<string, int>::iterator it;
```

Inserção (sobrescreve valores existentes)

```
m["abracadabra"] = 10;
m["yabadabadoo"] = 15;
m["hi-yo silver"] = 20;
```

Remoção

```
m.erase("yabadabadoo");
```

Percurso

```
for(it=m.begin(); it != m.end(); it++)
    cout << it->first << " " << it->second << endl;
```

Mostrar valor (se não existir retorna 0)

```
cout << m["abracadabra"] << endl;
```

Contar número de elementos iguais à chave

```
cout << m.count("hi-yo silver") << endl;
```

Esvaziar map

```
m.clear();
```

3.2. Set

Declaração

```
set<int> s;
```

Inserção

```
s.insert(10);
```

Se count > 0, elemento está no Set

```
cout << s.count(10) << endl;
```

Esvaziar Set

```
s.clear();
```

3.3. Queue

Declaração

```
queue<int> Q;
```

Inserção

```
Q.push(10);
```

Mostrar primeiro elemento da fila

```
cout << Q.front() << endl;
```

Remove primeiro elemento da fila (retorna void)

```
Q.pop();
```

Verifica se fila está vazia (retorna true se estiver vazia)

```
if(!Q.empty()){ ... }
```

Retorna tamanho da fila

```
cout << Q.size() << endl;
```

4. Ordenação

4.1. Ordenação crescente de vetor

```
int v[n];
/* -1: a < b
 * 0: a == b
 * 1: a > b */
int cmp(const void * a, const void * b){
    return ( *(int*)a - *(int*)b );
}
```

```
qsort(v, n, sizeof(int), cmp);
```

4.2. Ordenação crescente de struct

```
typedef struct {
    int u, v, w;
} TAdj;
```

```
TAdj adj[n];
```

```
int cmp(const void *a, const void *b){
    TAdj *x, *y;
    x = (TAdj*)a;
    y = (TAdj*)b;
    if(x->w < y->w)
        return -1;
    if(x->w > y->w)
        return 1;
    return 0;
}
```

```
qsort(adj, n, sizeof(TAdj), cmp);
```


5. Números Primos

5.1. Números Primos até 10.000

Existem 1.229 números primos até 10.000

2	3	5	7	11	13	17	19	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61	67	71	73	79	83	89	97	101
103	107	109	113	127	131	137	139	149	151	157	163	167	173	179	181	191	193	197							
199	211	223	227	229	233	239	241	251	257	263	269	271	277	281	283	293	307	311							
313	317	331	337	347	349	353	359	367	373	379	383	389	397	401	409	419	421	431							
433	439	443	449	457	461	463	467	479	487	491	499	503	509	521	523	541	547	557							
563	569	571	577	587	593	599	601	607	613	617	619	631	641	643	647	653	659	661							
673	677	683	691	701	709	719	727	733	739	743	751	757	761	769	773	787	797	809							
811	821	823	827	829	839	853	857	859	863	877	881	883	887	907	911	919	929	937							
941	947	953	967	971	977	983	991	997	1009	1013	1019	1021	1031	1033	1039	1049									
1051	1061	1063	1069	1087	1091	1093	1097	1103	1109	1117	1123	1129	1151	1153											
1163	1171	1181	1187	1193	1201	1213	1217	1223	1229	1231	1237	1249	1259	1277											
1279	1283	1289	1291	1297	1301	1303	1307	1319	1321	1327	1361	1367	1373	1381											
1399	1409	1423	1427	1429	1433	1439	1447	1451	1453	1459	1471	1481	1483	1487											
1489	1493	1499	1511	1523	1531	1543	1549	1553	1559	1567	1571	1579	1583	1597											
1601	1607	1609	1613	1619	1621	1627	1637	1657	1663	1667	1669	1693	1697	1699											
1709	1721	1723	1733	1741	1747	1753	1759	1777	1783	1787	1789	1801	1811	1823											
1831	1847	1861	1867	1871	1873	1877	1879	1889	1901	1907	1913	1931	1933	1949											
1951	1973	1979	1987	1993	1997	1999	2003	2011	2017	2027	2029	2039	2053	2063											
2069	2081	2083	2087	2089	2099	2111	2113	2129	2131	2137	2141	2143	2153	2161											
2179	2203	2207	2213	2221	2237	2239	2243	2251	2267	2269	2273	2281	2287	2293											
2297	2309	2311	2333	2339	2341	2347	2351	2357	2371	2377	2381	2383	2389	2393											
2399	2411	2417	2423	2437	2441	2447	2459	2467	2473	2477	2503	2521	2531	2539											
2543	2549	2551	2557	2579	2591	2593	2609	2617	2621	2633	2647	2657	2659	2663											
2671	2677	2683	2687	2689	2693	2699	2707	2711	2713	2719	2729	2731	2741	2749											
2753	2767	2777	2789	2791	2797	2801	2803	2819	2833	2837	2843	2851	2857	2861											
2879	2887	2897	2903	2909	2917	2927	2939	2953	2957	2963	2969	2971	2999	3001											
3011	3019	3023	3037	3041	3049	3061	3067	3079	3083	3089	3109	3119	3121	3137											
3163	3167	3169	3181	3187	3191	3203	3209	3217	3221	3229	3251	3253	3257	3259											
3271	3299	3301	3307	3313	3319	3323	3329	3331	3343	3347	3359	3361	3371	3373											
3389	3391	3407	3413	3433	3449	3457	3461	3463	3467	3469	3491	3499	3511	3517											
3527	3529	3533	3539	3541	3547	3557	3559	3571	3581	3583	3593	3607	3613	3617											
3623	3631	3637	3643	3659	3671	3673	3677	3691	3697	3701	3709	3719	3727	3733											
3739	3761	3767	3769	3779	3793	3797	3803	3821	3823	3833	3847	3851	3853	3863											
3877	3881	3889	3907	3911	3917	3919	3923	3929	3931	3943	3947	3967	3989	4001											
4003	4007	4013	4019	4021	4027	4049	4051	4057	4073	4079	4091	4093	4099	4111											
4127	4129	4133	4139	4153	4157	4159	4177	4201	4211	4217	4219	4229	4231	4241											
4243	4253	4259	4261	4271	4273	4283	4289	4297	4327	4337	4339	4349	4357	4363											
4373	4391	4397	4409	4421	4423	4441	4447	4451	4457	4463	4481	4483	4493	4507											

4513	4517	4519	4523	4547	4549	4561	4567	4583	4591	4597	4603	4621	4637	4639
4643	4649	4651	4657	4663	4673	4679	4691	4703	4721	4723	4729	4733	4751	4759
4783	4787	4789	4793	4799	4801	4813	4817	4831	4861	4871	4877	4889	4903	4909
4919	4931	4933	4937	4943	4951	4957	4967	4969	4973	4987	4993	4999	5003	5009
5011	5021	5023	5039	5051	5059	5077	5081	5087	5099	5101	5107	5113	5119	5147
5153	5167	5171	5179	5189	5197	5209	5227	5231	5233	5237	5261	5273	5279	5281
5297	5303	5309	5323	5333	5347	5351	5381	5387	5393	5399	5407	5413	5417	5419
5431	5437	5441	5443	5449	5471	5477	5479	5483	5501	5503	5507	5519	5521	5527
5531	5557	5563	5569	5573	5581	5591	5623	5639	5641	5647	5651	5653	5657	5659
5669	5683	5689	5693	5701	5711	5717	5737	5741	5743	5749	5779	5783	5791	5801
5807	5813	5821	5827	5839	5843	5849	5851	5857	5861	5867	5869	5879	5881	5897
5903	5923	5927	5939	5953	5981	5987	6007	6011	6029	6037	6043	6047	6053	6067
6073	6079	6089	6091	6101	6113	6121	6131	6133	6143	6151	6163	6173	6197	6199
6203	6211	6217	6221	6229	6247	6257	6263	6269	6271	6277	6287	6299	6301	6311
6317	6323	6329	6337	6343	6353	6359	6361	6367	6373	6379	6389	6397	6421	6427
6449	6451	6469	6473	6481	6491	6521	6529	6547	6551	6553	6563	6569	6571	6577
6581	6599	6607	6619	6637	6653	6659	6661	6673	6679	6689	6691	6701	6703	6709
6719	6733	6737	6761	6763	6779	6781	6791	6793	6803	6823	6827	6829	6833	6841
6857	6863	6869	6871	6883	6899	6907	6911	6917	6947	6949	6959	6961	6967	6971
6977	6983	6991	6997	7001	7013	7019	7027	7039	7043	7057	7069	7079	7103	7109
7121	7127	7129	7151	7159	7177	7187	7193	7207	7211	7213	7219	7229	7237	7243
7247	7253	7283	7297	7307	7309	7321	7331	7333	7349	7351	7369	7393	7411	7417
7433	7451	7457	7459	7477	7481	7487	7489	7499	7507	7517	7523	7529	7537	7541
7547	7549	7559	7561	7573	7577	7583	7589	7591	7603	7607	7621	7639	7643	7649
7669	7673	7681	7687	7691	7699	7703	7717	7723	7727	7741	7753	7757	7759	7789
7793	7817	7823	7829	7841	7853	7867	7873	7877	7879	7883	7901	7907	7919	7927
7933	7937	7949	7951	7963	7993	8009	8011	8017	8039	8053	8059	8069	8081	8087
8089	8093	8101	8111	8117	8123	8147	8161	8167	8171	8179	8191	8209	8219	8221
8231	8233	8237	8243	8263	8269	8273	8287	8291	8293	8297	8311	8317	8329	8353
8363	8369	8377	8387	8389	8419	8423	8429	8431	8443	8447	8461	8467	8501	8513
8521	8527	8537	8539	8543	8563	8573	8581	8597	8599	8609	8623	8627	8629	8641
8647	8663	8669	8677	8681	8689	8693	8699	8707	8713	8719	8731	8737	8741	8747
8753	8761	8779	8783	8803	8807	8819	8821	8831	8837	8839	8849	8861	8863	8867
8887	8893	8923	8929	8933	8941	8951	8963	8969	8971	8999	9001	9007	9011	9013
9029	9041	9043	9049	9059	9067	9091	9103	9109	9127	9133	9137	9151	9157	9161
9173	9181	9187	9199	9203	9209	9221	9227	9239	9241	9257	9277	9281	9283	9293
9311	9319	9323	9337	9341	9343	9349	9371	9377	9					

5.2. Quantidade de números primos de 1 a 10^N

```

pi(10^1) =      4
pi(10^2) =     25
pi(10^3) =    168
pi(10^4) =    1.229
pi(10^5) =    9.592
pi(10^6) =   78.498
pi(10^7) =  664.579
pi(10^8) = 5.761.455
pi(10^9) = 50.847.534

```

5.3. Fatorial

```

0! =      1
1! =      1
2! =      2
3! =      6
4! =     24
5! =    120
6! =    720
7! =   5.040
8! =  40.320
9! = 362.880
10! = 3.628.800
11! = 39.916.800
12! = 479.001.600 [limite unsigned int]
13! = 6.227.020.800
14! = 87.178.291.200
15! = 1.307.674.368.000
16! = 20.922.789.888.000
17! = 355.687.428.096.000
18! = 6.402.373.705.728.000
19! = 121.645.100.408.832.000
20! = 2.432.902.008.176.640.000

```

5.4. Limites de tipos de dados

tipo	bits	mínimo .. máximo	precisão decimal
char	8	0 .. 127	2
signed char	8	-128 .. 127	2
unsigned char	8	0 .. 255	2
short	16	-32.768 .. 32.767	4
unsigned short	16	0 .. 65.535	4
int	32	-2x10 ⁹ .. 2x10 ⁹	9
unsigned int	32	0 .. 4x10 ⁹	9
int64_t	64	-9x10 ¹⁸ .. 9x10 ¹⁸	18
uint64_t	64	0 .. 18x10 ¹⁸	19

tipo	bits	expoente	precisão decimal
float	32	38	6
double	64	308	15
long double	80	19.728	18

6. Grafos

Estruturas gerais

```
int grau[MAX_V];    // número de arestas no vértice
int d[MAX_V];       // distância
int p[MAX_V];       // pai do vertice
int visited[MAX_V]; // vértices visitados
```

Grafos com peso

```
typedef struct{
    int v;    // vértice
    double w; // peso
} TAdj;
TAdj adj[MAX_V][MAX_A];
```

Grafos sem peso

```
int adj[MAX_V][MAX_A];
```

Inserção de aresta

```
void aresta(int a, int b, double w){
    adj[a][ grau[a] ].v = b;
    adj[a][ grau[a] ].w = w;
    grau[a]++;

    adj[b][ grau[b] ].v = a;
    adj[b][ grau[b] ].w = w;
    grau[b]++;
}
```

Inicialização do grafo

```
memset(grau, 0, sizeof(grau));
memset(visited, 0, sizeof(visited));
memset(p, -1, sizeof(p));
```

6.1. Depth First Search (DFS)

testado com o problema 459

```
void dfs(int s){
    int t;
    visited[s] = 1;
    for(int i=0; i<grau[s]; i++){
        t = adj[s][i];
        if(visited[t] == 0){
            p[t] = s;
            dfs(t);
        }
    }
}

void initializeDfs(){
    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    memset(p, -1, sizeof(p));
}
```

6.2. Breadth First Search (BFS)

testado com o problema 627

```
void bfs(int inicio){
    int s, t;
    queue<int> Q;

    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    memset(p, -1, sizeof(p));
    d[inicio] = 0;
    visited[inicio] = 1;

    Q.push(inicio);
    while(!Q.empty()){
        s = Q.front();
        Q.pop();
        for(int i=0; i<grau[s]; i++) {
            t = adj[s][i];
            if(visited[t] == 0){
                visited[t] = 1;
                d[t] = d[s] + 1;
                p[t] = s;
                Q.push(t);
            }
        }
    }
}
```

6.3. Floyd–Warshall

testado com o problema 10171

```
void initialize(){ // inicializar antes de ler o grafo
    for(int i=0; i<MAX_V; i++){
        for(int j=0; j<MAX_V; j++){
            adj[i][j] = INF;
            p[i][j] = -1;
        }
        adj[i][i] = 0;
    }
}

void floyd(){
    for(int k=0; k<MAX_V; k++)
        for(int i=0; i<MAX_V; i++)
            for(int j=0; j<MAX_V; j++)
                if(adj[i][k] + adj[k][j] < adj[i][j]){
                    adj[i][j] = adj[i][k] + adj[k][j];
                    p[i][j] = p[k][j];
                }
}
```

6.4. Floyd MinMax

testado com o problema 10048

```
void floydMinMax(){
int maior;

for(int k=0; k<MAX_V; k++)
    for(int i=0; i<MAX_V; i++)
        for(int j=0; j<MAX_V; j++){
            if(adj[i][k] > adj[k][j])
                maior = adj[i][k];
            else
                maior = adj[k][j];
            if(adj[i][j] > maior){
                adj[i][j] = maior;
                adj[j][i] = maior;
            }
        }
}
```

6.5. Dijkstra

testado com o problema 929

```
void dijkstra(int inicial){
priority_queue< pair<int,int> > heap; // peso, vertice
int s, t, peso;

for(int i=0; i<MAX_V; i++)
    d[i] = INF;
memset(p, -1, sizeof(p));

heap.push(make_pair(d[inicial] = 0, inicial));
while(!heap.empty()){
    s = heap.top().second;
    heap.pop();
    for(int i=0; i<grau[s]; i++){
        t = adj[s][i].v;
        peso = adj[s][i].w;
        if(d[s] + peso < d[t]){
            d[t] = d[s] + peso;
            p[t] = s;
            heap.push(make_pair(-d[t], t));
        }
    }
}
}
```

6.6. Bellman-Ford

testado com o problema 558

Obs.: algoritmo de caminhos mais curtos de origem única;
é possível inserir arestas com peso negativo;
retorna falso caso haja ciclo com peso negativo (não existe solução).

```
bool bellmanFord(int inicial, int n){
    memset(p, -1, sizeof(p));
    for(int i=0; i<n; i++)
        d[i] = INF;
    d[inicial] = 0;
    for(int i=0; i<n; i++)          // todos vertices
        for(int j=0; j<n; j++)      /* todas */
            for(int k=0; k<grau[j]; k++){/* arestas */
                if(d[j] + adj[j][k].w < d[adj[j][k].v]){
                    d[adj[j][k].v] = d[j] + adj[j][k].w;
                    p[adj[j][k].v] = j;
                }
            }
    for(int i=0; i<n; i++)
        for(int j=0; j<grau[i]; j++)
            if(d[adj[i][j].v] > d[i] + adj[i][j].w)
                return false;
    return true;
}
```

6.7. PRIM

testado com o problema 10034

```
int total; //armazena o custo total da MST
void prim(int inicio, int n){
    priority_queue< pair<int, int> > heap;
    int s, t, arc;

    for(int i=0; i<n; i++)
        d[i] = INF;
    memset(p, -1, sizeof(p));
    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    heap.push(make_pair(d[inicio] = 0, inicio));
    total = 0;

    while(!heap.empty()){
        s = heap.top().second;
        heap.pop();
        if(!visited[s])
            total += d[s];
        visited[s] = 1;
        for(int i=0; i<grau[s]; i++){
            t = adj[s][i].v;
            arc = adj[s][i].w;
            if(d[t] > arc && !visited[t]){
                d[t] = arc;
                p[t] = s;
                heap.push(make_pair(-d[t], t));
            }
        }
    }
}
```

6.8. Kruskal

testado com o problema 10034

```
typedef struct{
    int u, v, w;
} TAdj;

TAdj adj[MAX_A];
TAdj mst[MAX_A]; //armazena a MST
int nro_arestas, total, posMst;

int findSet(int x){
    if(x != p[x])
        p[x] = findSet(p[x]);
    return p[x];
}

void kruskal(){
    int u, v, u_set, v_set;

    posMst = 0;
    for(int i=0; i<MAX_V; i++) // todos vértices
        p[i] = i;
    qsort(adj, nro_arestas, sizeof(TAdj), cmp);

    for(int i=0; i<nro_arestas; i++){
        u = adj[i].u; v = adj[i].v;
        u_set = findSet(u);
        v_set = findSet(v);
        if(u_set != v_set){
            p[v_set] = p[u_set];
            mst[posMst++] = adj[i];
            total += adj[i].w;
        }
    }
}
```

6.9. Ordenação Topológica

testado com o problema 11060

Obs.: atenção pois uma ordenação topológica possui diversas saídas possíveis

```
int indegree[MAX_V]; // grau de entrada do vértice
int used[MAX_V];     // vértice foi usado?
queue<int> L;         // armazena a ordenação topológica

void topological_sort(){
    queue<int> z;
    int v, w;
    memset(indegree, 0, sizeof(indegree));
    for(int i=0; i<MAX_V; i++)
        if(grau[i])
            for(int j=0; j<grau[i]; j++)
                indegree[adj[i][j]]++;

    for(int i=0; i<MAX_V; i++)
        if(used[i] && !indegree[i])
            z.push(i);

    while(!z.empty()){
        v = z.front(); z.pop();
        L.push(v);
        for(int i=0; i<grau[v]; i++){
            w = adj[v][i];
            indegree[w]--;
            if(!indegree[w])
                z.push(w);
        }
    }
}
```

6.10. Biconectividade

testado pontos de articulação com o problema 10199
 testado pontes com o problema 796

Obs.: algoritmo encontra os pontos de articulação e as pontes de um grafo.
 Se o grafo for desconexo executar o algoritmo novamente a partir de um vértice não visitado

```
int nroVert, contRaiz;
vector< pair<int,int> > bridge;
set<int> artPoint;
int low[MAX_V], num[MAX_V];

void initializeArticulation(){
    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    memset(p, -1, sizeof(p));
    contRaiz = 0;
    nroVert = 1;
}
```

```
void findArticulation(int v){
    int t;
    visited[v] = 1;
    num[v] = low[v] = nroVert++;
    for(int i=0; i<grau[v]; i++){
        t = adj[v][i];
        if(!visited[t]){
            p[t] = v;
            if(num[v] == 1) // conta filhos da raiz na árvore
                contRaiz++;
            findArticulation(t);
            if(low[t] > num[v])
                bridge.push_back(make_pair(v, t));
            if(low[t] >= num[v] && num[v] != 1)
                artPoint.insert(v);
            else if(num[v] == 1 && contRaiz > 1)
                artPoint.insert(v);
            low[v] = MIN(low[v], low[t]);
        }
        else if(p[v] != adj[v][i])
            low[v] = MIN(low[v], num[t]);
    }
}
```


6.11. Bipartição

Algoritmo determina se um grafo é ou não bipartido, ou seja, se o grafo pode ser pintado em apenas duas cores sem vértices adjacentes com a mesma cor.

Testado com o problema 11080.

```
int particao[MAX_V]; // marca qual conjunto está um vértice
int visited[MAX_V], grau[MAX_V];
bool is_bipartite;
```

```
void _dfsVisit(int s, int p){
    int t;
    visited[s] = 1;
    particao[s] = p;
    for(int i=0; i<grau[s]; i++){
        t = adj[s][i];
        if(!visited[t])
            _dfsVisit(t, !p);
        else
            if(particao[t] == p)
                is_bipartite = false;
    }
}
```

```
void bipartite(){
    is_bipartite = true;
    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    for(int i=0; i<MAX_V; i++) {
        if(is_bipartite == false)
            break;
        if(grau[i] > 0 && !visited[i])
            _dfsVisit(i,0);
    }
}
```

6.12. Número de caminhos distintos em um DAG

testado com o problema 988

```
int countDAGPaths(int s, int t){
    int u;

    topological_sort();
    memset(d, 0, sizeof(d));
    d[s] = 1;

    while(!L.empty()){
        u = L.front(); L.pop();
        for(int i=0; i<grau[u]; i++)
            d[adj[u][i]] = d[adj[u][i]] + d[u];
    }
    return d[t];
}
```

6.13. Fluxo Máximo - Edmonds-Karp

testado com o problema 820 (Internet Bandwidth)

Complexidade $O(V \cdot E \cdot E)$ - bom para grafos esparsos

```
#define residue(src, dst) ( c[ (src) ][ (dst) ] -
flow( (src), (dst) ) )
#define flow(src, dst) ( f[ (src) ][ (dst) ] - f[ (dst) ]
[ (src) ] )
```

```
int f[MAX_V][MAX_V]; // fluxo
int c[MAX_V][MAX_V]; // capacidade = peso das arestas
```

```
void initialize(){
    memset(f, 0, sizeof(f));
    memset(c, 0, sizeof(c));

    // se grafo possui arestas paralelas com pesos
    // diferentes, acumula capacidade
    for(int i=0; i<MAXV; i++)
        for(int j=0; j<grau[i]; j++)
            c[i][adj[i][j].v] += adj[i][j].w;
}
```

```
int maxFlowEdmondsKarp(int s, int t){
    int F = 0, minCapacity, u, v;
    while(true){
        queue<int> Q;
        memset(p, -1, sizeof(p));
        Q.push(s);
        p[s] = -2;
        // BFS
        while(!Q.empty() && p[t] == -1){
            u = Q.front();
            Q.pop();
            for(int i=0; i<grau[u]; i++){
                v = adj[u][i].v;
                if(p[v] == -1 && residue(u, v) > 0){
                    p[v] = u;
                    Q.push(v);
                }
            }
        }
        // não encontrou caminho até t
        if(p[t] == -1)
            return F;
        // encontra menor capacidade no caminho
        minCapacity = INF;
        for(v = t, u = p[v]; u >= 0; v = u, u = p[v])
            minCapacity = MIN(minCapacity, residue(u, v));
        // incrementa fluxo no caminho
        for(v = t, u = p[v]; u >= 0; v = u, u = p[v])
            f[u][v] += minCapacity;
        F += minCapacity;
    }
    return F;
}
```

6.14. Componentes Fortemente Conectados

É o conjunto de vértices em que para cada vértice u, v existe um caminho de u para v e vice-versa. Matriz `invAdj` representa a lista de adjacências inversa, ou seja, em vez de $u \rightarrow v$, nela definimos $v \rightarrow u$. Elementos com o mesmo id no vetor `visited` pertencem ao mesmo grupo fortemente conectado. Testado com o problema 247.

```
stack<int> S;
void dfsVisit(int v){
    visited[v] = 1;
    for(int i = 0; i < grau[v]; i++)
        if(!visited[adj[v][i]])
            dfsVisit(adj[v][i]);
    S.push(v);
}
void dfsVisit2(int x){
    visited[x] = id;
    for(int i = 0; i < invGrau[x]; i++)
        if(!visited[invAdj[x][i]])
            dfsVisit2(invAdj[x][i]);
}
void kosaraju(int start, int end){
    memset(visited, 0, sizeof(visited));
    for(int i=start; i<end; i++)
        if(!visited[i])
            dfsVisit(i);
    memset(visited, 0, sizeof(visited)); id = 1;
    while(!S.empty()){
        int u = S.top(); S.pop();
        if(!visited[u]){
            dfsVisit2(u); id++;
        }
    }
}
```

6.15. Karp

```
int weight[MAX][MAX], d[MAX+1][MAX];
int n, m;

double MMC(){
    //Initialize
    int k, u, v, s = 0;
    for(k=0 ; k<= n ; k++)
        for(u= 0 ; u<n ; u++)
            d[k][u] = INF;
    d[0][s] = 0;

    //Compute distances
    for(k=1; k<=n ; k++)
        for(v=0 ; v<n ; v++)
            for(u=0 ; u<n ; u++)
                if(weight[u][v] < INF)
                    d[k][v] = MIN(d[k][v], d[k-1][u]+weight[u][v]);

    //Compute lambda using karp's theorem
    double lamda = INF;
    for(u=0 ; u<n ; u++){
        double currentLamda = -INF; // changed here
        for(int k=0 ; k<n ; k++)
            if(d[n][u] < INF && d[k][u] < INF)
                currentLamda = MIN(currentLamda, 1.0*(d[n][u]-d[k]
[u]))/(n-k) );
        lamda = MIN(lamda, currentLamda);
    }

    return lamda;
}
```

6.16. Ciclo Euleriano

```
//Informação sobre uma aresta
typedef struct{
    int label; //contém um label
    int dest;  //e o destino da aresta
}TInfoAr;

int vertices_visitados[MAX_V], //marca vértices visitados - BFS
    grau[MAX_V],               //grau de cada vértice
    vertice_presente[MAX_V],    //vértices presentes no grafo
    achouCiclo,                //marca se encontrou um ciclo euleriano
    nvt,                        //Número de vértices
    nar,                        //Número de arestas
    inicioCiclo; //Vértice inicial em busca do ciclo euleriano

/* Representação do grafo: Cada elemento guarda um vértice e as
   arestas que são adjacentes.
   Ex: 1 -> 0 1 2
        2 3 2
   Vértice 1 está ligado às arestas 0, 1, 2 e estas arestas têm
   como destino os vértices
   2, 3, 2, respectivamente
*/
TInfoAr va[MAX_V][MAX_A];

//Ciclo euleriano
deque< int > cicloEuleriano;
//Inicializa o grafo
void ini_grafo(int n=0){
    nar = 0;
    nvt = n;
    memset(vertice_presente, 0, sizeof(vertice_presente));
    memset(grau, 0, sizeof(grau));
}

void printGrafo(){
```

```
    cout<<nvt<<" "<<nar<<endl;
    for(int i=0; i<MAX_V; i++){
        if(vertice_presente[i]==0) continue;
        cout<<i<<" -> ";
        for(int j=0; j<grau[i]; j++){
            cout<<"("<<va[i][j].dest<<","<<va[i][j].label<<")";
        }
        cout<<endl;
    }
}

//Insere uma aresta no grafo
void aresta(int u, int v){

    //Verifica se os vértices u e v estão no grafo, atualizando
    o
    //número de vértices e o vetor vertice_presente
    if(vertice_presente[u]==0){ vertice_presente[u]=1; nvt++; }
    if(vertice_presente[v]==0){ vertice_presente[v]=1; nvt++; }

    //Insere a aresta u-v e v-u no grafo

    va[u][ grau[u] ].dest = v; va[u][ grau[u] ].label = nar;
    grau[u]++;

    va[v][ grau[v] ].dest = u; va[v][ grau[v] ].label = nar;
    grau[v]++;

    //Incrementa o número de arestas
    nar++;

}

//Verifica usando o BFS se o grafo é conexo
```

```

bool eh_conexo(int inicio){
    queue<int> fila;
    int u, vAux;

    memset(vertices_visitados, 0, sizeof(vertices_visitados));

    fila.push(inicio);
    vertices_visitados[inicio] = 1;

    while(fila.empty()==false){
        u = fila.front(); fila.pop();
        for(int i=0; i<grau[u]; i++){
            vAux = va[u][i].dest;
            if(vertices_visitados[vAux]==0){
                vertices_visitados[vAux]=1;
                fila.push(vAux);
            }
        }
    }
    for(int i=0; i<MAX_V; i++)
        if(vertice_presente[i]==1 && vertices_visitados[i]==0)
            return false;
    return true;
}

```

```

//Rotaciona o ciclo e obtêm o vértice onde deverá encontrar o
novo ciclo
void rotacionaCiclo(){

    //retira o primeiro elemento *1 2 3 4 1 -> 2 3 4 1
    cicloEuleriano.pop_front();

    //Procura um vértice no ciclo euleriano cujo grau seja
    maior que 0
    int posRot=0;
    for(int i=0; i<cicloEuleriano.size(); i++)
        if(grau[ cicloEuleriano[i] ]>0){ posRot = i;
        inicioCiclo=cicloEuleriano[i]; break; }

    //Coloca o elemento com grau>0 presente no cicloEuleriano
    no início do ciclo
    rotate(cicloEuleriano.begin(), cicloEuleriano.begin()
    +posRot, cicloEuleriano.end());

    //Põe no final do ciclo o elemento inicial
    cicloEuleriano.push_back( cicloEuleriano[0] );

    //Tira o elemento inicial que será usado para encontrar o
    próximo ciclo
    cicloEuleriano.pop_front();
}

```

```

void remove_aresta(int u, int v, int lb){

    for(int i=0; i<grau[u]; i++){
        if(va[u][i].label == lb){
            grau[u]--;
            va[u][i].dest = va[u][ grau[u] ].dest;
            va[u][i].label = va[u][ grau[u] ].label;
            break;
        }
    }

    for(int i=0; i<grau[v]; i++){
        if(va[v][i].label == lb){
            grau[v]--;
            va[v][i].dest = va[v][ grau[v] ].dest;
            va[v][i].label = va[v][ grau[v] ].label;
            break;
        }
    }
    nar--; //decrementa o número de arestas
}

```

```

void get_ciclo_euleriano(int u){
    int prox, lb;

    //ainda não achou o ciclo
    achouCiclo=0;

    // se o grafo não tem arestas, termina
    if(nar==0) return;

    //Enquanto não achou um ciclo euleriano
    while(achouCiclo==0){
        //Insere o vértice no ciclo
        cicloEuleriano.push_front(u);

        //Obtém o próximo vértice do ciclo
        prox = va[u][0].dest;
        lb = va[u][0].label;

        //Remove a aresta do vértice
        remove_aresta(u, prox, lb);

        //atribui ao u o prox
        u = prox;

        //Se o vértice destino da aresta sendo visitada é igual ao
        vértice inicial
        if(u==inicioCiclo)
            achouCiclo=1; //encontrou um ciclo
    }

    //Coloca no cicloEuleriano o vértice inicial novamente,
    fechando o ciclo
    cicloEuleriano.push_front(u);
}

```

```

/* Verifica se o grafo possui ciclo euleriano.

1. Se o grafo não é conexo, termina.
2. Se possui vértice com grau ímpar, termina.
3. Encontra o primeiro ciclo euleriano partindo de u.
4. Se não encontrar um vértice no ciclo euleriano com
   grau>1, termina. Senão,
   atribui o vértice encontrado à variável inicioCiclo
5. u = inicioCiclo
6. Volta ao passo 3.
*/
void ciclo_euleriano(int u){
    //Verifica se o grafo é conexo
    if(eh_conexo(u)==false){ return; }
    //Verifica se existe algum vértice com grau ímpar
    for(int i=0; i<MAX_V; i++){
        if(vertice_presente[i]==1 && grau[i]%2!=0){ return; }

    //Limpa o ciclo euleriano
    cicloEuleriano.clear();
    inicioCiclo=u;

    while(1){
        //Não achou ciclo
        achouCiclo = 0;
        //Obtém o ciclo euleriano começando em inicioCiclo
        get_ciclo_euleriano(inicioCiclo);

        //Se acabaram as arestas
        if(nar==0) return;

        //Rotaciona o ciclo e encontra o novo inicioCiclo
        rotacionaCiclo();
    }
}

```

```

int main(){
    int t, n, u, v;
    scanf("%d", &t);
    for(int iT=0; iT<t; iT++){
        scanf("%d", &n);
        ini_grafo();
        for(int iN=0; iN<n; iN++){
            scanf("%d %d", &u, &v);
            aresta(u, v);
        }

        ciclo_euleriano(u);

        printf("Case #%d\n", iT+1);
        if(cicloEuleriano.size()==0)
            printf("some beads may be lost\n");
        else
            for(int iC=0; iC< cicloEuleriano.size() - 1; iC++)
                printf("%d %d\n", cicloEuleriano[iC],
                    cicloEuleriano[iC+1]);

        if(iT!=t-1)
            printf("\n");
    }
}

```

7. Programação Dinâmica

7.1. Longest Increasing Subsequence - LIS

testado com o problema 497

Obs.: algoritmo encontra a maior subsequência crescente em um vetor

```
int length[MAX_V]; // armazena o comprimento maximo na posição
int p[MAX_V];      // pai
int v[MAX_V];      // vetor com a sequência
int n;
void lis(){
    for(int i=0; i<n; i++)
        length[i] = 1;
    memset(p, -1, sizeof(p));
    for(int i=0; i<n-1; i++)
        for(int j=i+1; j<n; j++)
            if(v[j] > v[i])
                if(length[i] + 1 > length[j]){
                    length[j] = length[i] + 1;
                    p[j] = i;
                }
}
```

7.2. Longest Common Subsequence - LCS

testado com o problema 11151

Obs.: algoritmo encontra a maior subsequência comum entre duas strings

```
int table[MAX_V][MAX_V];
char a[MAX_V], b[MAX_V];

int lcs(){
    int m, n;
    m = strlen(a); n = strlen(b);
    for(int i=0; i<m; i++)
        for(int j=0; j<n; j++)
            table[i][j]=0;
    for(int i=1; i<m+1; i++)
        for(int j=1; j<n+1; j++)
            if(a[i-1]==b[j-1])
                table[i][j] = table[i-1][j-1]+1;
            else
                table[i][j] = MAX(table[i][j-1], table[i-1][j]);
    return table[m][n];
}

void printPath(int i, int j){
    if(i == 0 || j==0)
        return;
    if(a[i-1] == b[j-1]){
        printPath(i-1, j-1);
        printf("%c", a[i-1]);
    }
    else if(table[i-1][j] <= table[i][j-1])
        printPath(i, j-1);
    else
        printPath(i-1, j);
}
```


7.3. Matrix Chain Multiplication - MCM

testado com o problema 348

```
int m[MAX_V][MAX_V]; // custos
int s[MAX_V][MAX_V]; // caminho
int p[MAX_V];        // dimensões das matrizes
void initializeMcm(int n){
    for(int i=1; i<n+1; i++)
        for(int j=i; j<n+1; j++)
            m[i][j] = INF;
}
void printPath(int i, int j){
    if(i==j)
        cout << "A" << i;
    else{
        cout << "("; printPath(i,s[i][j]);
        cout << " x "; printPath(s[i][j]+1, j);
        cout << ")";
    }
}
int mcm(int i, int j){ // primeira chamada: mcm(1, n)
int k, q;
    if(m[i][j] < INF)
        return m[i][j];
    if(i == j)
        m[i][j] = 0;
    else
        for(int k=i; k<j; k++){
            q = mcm(i,k) + mcm(k+1,j) + p[i-1]*p[k]*p[j];
            if(q < m[i][j]){
                m[i][j] = q; s[i][j] = k;
            }
        }
    return m[i][j];
}
```

7.4. Knapsack - problema da mochila binária

testado com o problema 10130

```
int c[MAX_V][MAX_V];
int weight[MAX_V], price[MAX_V];

void knapsack(int n, int w){

    for(int i=0; i<n+1; i++) c[i][0] = 0; // para todos produtos
    for(int i=0; i<w+1; i++) c[0][i] = 0; // para todos pesos
    for(int i=1; i<n+1; i++)
        for(int j=1; j<w+1; j++)
            if(weight[i] > j)
                c[i][j] = c[i-1][j];
            else
                c[i][j] = MAX(c[i-1][j],
                               c[i-1][j-weight[i]] + price[i]);
}
```

7.5. Edit Distance

testado com o problema 526

Entrada: Duas strings

Saída: O menor custo (em termos de remoção, alteração, inserção) para transformar a primeira string na segunda

Obs: Índices das strings iniciam em 1, sendo `str[0]=' '`

```
#define MATCH 0
#define INSERT 1
#define DELETE 2
#define MAXLEN 1000

typedef struct{
    int c; //custo
    int p; //pai
}TCelula;

TCelula m[MAXLEN+1][MAXLEN+1]; //tabela da programacao dinamica
char s[MAXLEN], t[MAXLEN]; //strings de entrada
```

```
int comparaStrings(){
int i, j, k, opt[3];

for(i=0; i<MAXLEN; i++){
    m[0][i].c = m[i][0].c = i;
    m[0][i].p = INSERT;
    m[i][0].p = DELETE;
}
m[0][0].p = -1;

for(i=1; i<strlen(s); i++)
for(j=1; j<strlen(t); j++){
    //os custos podem ser alterados aqui.
    opt[MATCH] = m[i-1][j-1].c +
        (s[i]==t[j] ? 0 : 1); //c = 0 ou 1
    opt[INSERT] = m[i][j-1].c + 1; //deleta t[j], c = 1
    opt[DELETE] = m[i-1][j].c + 1; //deleta s[i], c = 1

    //Agora começa a escolha da opção menos custosa...
    m[i][j].c = opt[MATCH]; m[i][j].p = MATCH;

for(k = INSERT; k<=DELETE; k++)
    if(opt[k] < m[i][j].c){
        m[i][j].c = opt[k]; m[i][j].p = k;
    }
}
i = strlen(s) - 1;
j = strlen(t) - 1;
return( m[i][j].c );
}
```

```
// deve ser chamado com i = strlen(s) - 1 e j = strlen(t) - 1;
void reconstroiCaminho(int i, int j){
    if( m[i][j].p == -1 ) return;
    if( m[i][j].p == MATCH ){
        reconstroiCaminho(i-1, j-1);
        if(s[i]==t[j]) printf("M"); //match!
        else printf("S"); //substitution
        return;
    }
    if( m[i][j].p == INSERT ){
        reconstroiCaminho(i, j-1);
        printf("I");
        return;
    }
    if( m[i][j].p == DELETE ){
        reconstroiCaminho(i-1, j);
        printf("D");
        return;
    }
}
int main(){
    int i, j;
    s[0] = t[0] = ' '; //char em 0 nas strings deve ser ' '
    while(true){
        gets(&(s[1]));
        if(feof(stdin)) break;
        gets(&(t[1]));
        printf("Menor custo para transformar %s em %s: %d\n", &(s[1]), &(t[1]), comparaStrings());
        i = strlen(s) - 1; j = strlen(t) - 1;
        reconstroiCaminho(i, j);
        printf("\n");
    }
    return 0;
}
```

7.6. Máxima soma de subconjunto $\leq N$

testado com o problema 624

Algoritmo para calcular a soma que mais se aproxima de um valor dado.

Entrada: Vetor de inteiros e a soma n

Saída: Maior soma possível $\leq n$

Imprime os números caso necessário

```
map<pair<int, int>, int > tem_sucessor;
map<pair<int, int>, pair<int, int> > sucessor;
map<pair<int, int>, int> cache;
map<pair<int, int>, int> esta_em_cache;

int max_qtd(int n, int i, const VI &ele){
    if(n<=0 || i<=0 || ele.size()==0)
        return 0;
    if(esta_em_cache[make_pair(n,i)]==1)
        return cache[make_pair(n,i)];
    int aux, maximo=0, iMaximo=-1;
    for(int k=0; k<ele.size(); k++){
        VI temp = ele; temp.erase(temp.begin()+k);
        aux=0;
        if(ele[k]<=n)
            aux=ele[k] + max_qtd(n-ele[k], i-1, temp);
        if(aux>maximo)
            maximo=aux, iMaximo=k;
    }
    if(iMaximo>=0){
        sucessor[make_pair(n,i)]=make_pair(n-ele[iMaximo], i-1);
        tem_sucessor[make_pair(n,i)]=1;
    }
    esta_em_cache[make_pair(n,i)] = 1;
    return (cache[make_pair(n,i)]=maximo);
}
```

```

void imprimeSol(int n, int t){
    int auxN, auxT;
    while(tem_sucessor[make_pair(n,t)]==1){
        cout<<n-sucessor[make_pair(n,t)].first<<" ";
        auxN=sucessor[make_pair(n,t)].first;
        auxT=sucessor[make_pair(n,t)].second;
        n=auxN;
        t=auxT;
    }
}

int main(){
    while(1){
        int n, t, aux;
        vector<int> durations;

        if(!(cin>>n))
            return 0;
        cin>>t;

        for(int i=0; i<t; i++)
            cin>>aux, durations.push_back(aux);

        sucessor.erase(all(sucessor));
        cache.erase(all(cache));
        esta_em_cache.erase(all(esta_em_cache));
        tem_sucessor.erase(all(tem_sucessor));

        int maximo = max_qtd(n, t, durations);
        imprimeSol(n, t);
        cout<<"sum:"<<maximo<<endl;
    }
    return 0;
}

```

7.7. Coins Change

Algoritmo retorna o número mínimo de moedas necessárias para um troco. Na configuração abaixo, usando money=7 retornaria duas moedas (3 + 4). Caso tivesse utilizado um algoritmo guloso a resposta seria errada, retornariam 3 moedas (5 + 1 + 1). Abaixo duas versões, a primeira com memoization e a segunda com DP.

```

int coins[] = {1, 3, 4, 5}, coins_length = 4;
int minCoins[MAX];

int coinsChangeMemo(int money){
    if(minCoins[money] > 0)
        return minCoins[money];
    if(money == 0)
        return 0;
    int v = INF;
    for(int c=0; c<coins_length; c++){
        if(coins[c] > money) continue;
        v = min(v, coinsChangeMemo(money - coins[c]) + 1);
    }
    return minCoins[money] = v;
}

int coinsChangeDP(int money){
    minCoins[0] = 0;
    for(int m=1; m <= money; m++){
        minCoins[m] = INF;
        for(int c=0; c<coins_length; c++){
            if(coins[c] > money) continue;
            minCoins[m] = min(minCoins[m], minCoins[m - coins[c]] + 1);
        }
    }
    return minCoins[money];
}

```

7.8. Coins Ways

Algoritmo retorna o número de maneiras de contar um dinheiro usando as moedas disponíveis.

Testado com o problema 674

```
#define MAXMONEY 7500 // máximo dinheiro que pode trocar
#define MAXCOINS 5    // máximo número de moedas

int ways[MAXMONEY + 1];
int moedas[MAXCOINS] = { 50, 25, 10, 5, 1 }; //vetor ordenado

void coinsWays(){
    int c;
    ways[0] = 1;
    for(int i=1; i<=MAXMONEY; i++)
        ways[i]=0;
    for(int i=0; i<MAXCOINS; i++){
        c = moedas[i];
        for(int j=c; j<=MAXMONEY; j++)
            ways[j] += ways[j-c];
    }
}

int main(){
    int money;
    coinsWays();
    while(cin>>money)
        printf("%llu\n", ways[money]);
}
```

7.9. Maximum Interval Sum

Algoritmo encontra maior soma contínua em um array v[1-n].

Armazena o intervalo [a-b] e o valor máximo da soma.

Obs.: array deve começar a partir da posição 1

```
#define MAXSIZE 20003
int v[MAXSIZE];

void maxIntervalSum(int n, int &a, int &b, int &maxSum){
    int max[MAXSIZE], start[MAXSIZE];
    for(int i=1; i<=n; i++)
        max[i] = start[i] = 0;
    start[0] = 1;
    for(int i=1; i<=n; i++)
        if(max[i-1] >= 0){
            max[i] += max[i-1] + v[i];
            start[i] = start[i-1];
        } else {
            max[i] += v[i];
            start[i] = i;
        }
    b = 1;
    for(int i=2; i<=n; i++)
        if(max[i] > max[b])
            b = i;
    a = start[b];
    maxSum = max[b];
}

int v[10] = { -INF, -2, 1, -3, 4, -1, 2, 1, -5, 4};
int a, b, maxSum;
maxIntervalSum(9, a, b, maxSum);
//retorna: a = 4, b = 7, maxSum = 6
```

7.10. Mochila Fracionária

```

/* Recebe como parametros o numero de objetos n,
   o array de objetos com seus respectivos pesos e valores,
   e a capacidade W da mochila */
double mochilaFracNlogN(int n, Object * obj, int W){
    double weight = 0.0; // Peso armazenado na mochila
    double total = 0.0; // Valor total armazenado na mochila
    int i;

    // Ordena os objetos com relacao a razao entre valor/peso
    qsort(obj, n, sizeof(Object), ratioCmp);

    /* Coloca o maior numero de objetos de forma completa na
    mochila, em ordem de razao valor/peso */
    for(i=0; i<n; i++){
        /* Caso nao seja possivel colocar o objeto atual na
        mochila, entao sai do laço */
        if(obj[i].weight + weight > W)
            break;
        obj[i].frac = 1.0; // Coloca todo o objeto i na mochila
        total += obj[i].value; // Atualiza o valor total
        weight += obj[i].weight; // Atualiza o peso total
    }
    /* Se nem todos os objetos couberam na mochila,
    coloca apenas uma fracao do melhor objeto, em termos de
    valor/peso, ainda nao considerado */
    if(i < n){
        /* Coloca apenas a fracao possivel do objeto i */
        obj[i].frac = (W - weight)/(double)obj[i].weight;
        // Atualiza o valor total da mochila
        total += ((double) obj[i].value) * obj[i].frac;
    }
    return total;
}

```

8. Geometria

```
#define X first
#define Y second
```

Ponto:

```
typedef pair<double, double> TPoint;
```

Polígono:

```
typedef vector< TPoint > TPolygon;
```

Reta:

```
typedef struct{
    double A, B, C;
}TLine;
```

Circunferência:

```
typedef struct{
    TPoint c;
    double r;
}Tball;
```

8.1. Distância de ponto a ponto

```
double point_point_dist(TPoint a, TPoint b){
    return(sqrt( (a.X-b.X)*(a.X-b.X) + (a.Y-b.Y)*(a.Y-b.Y)));
}
```

8.2. Distância de ponto a reta

```
/* Distância de ponto a reta
   2*A = |AB|*h = |AxBI| => h = |AxBI|/|AB| */
double signed_point_line_dist(TPoint a, TPoint b, TPoint c){
    return (is_left(a,b,c)/point_point_dist(a,b));
}
```

8.3. Produto Escalar

```
double prod_escalar(TPoint a, TPoint b, TPoint u, TPoint v){
    return ((b.X-a.X)*(v.X-u.X) + (b.Y-a.Y)*(v.Y-u.Y));
}
```

8.4. Produto Vetorial

```
/* Produto vetorial entre ab e ac.
   Retorna =0 se a, b, c sao colineares
           >0 se ab é cw de ac (c está à esquerda de ab)
           <0 se ab é ccw de ac (c está à direita de ab) */
double is_left(TPoint a, TPoint b, TPoint c){
    return ((b.X-a.X)*(c.Y-a.Y) - (c.X-a.X)*(b.Y-a.Y));
}
```

8.5. Área do triângulo com sinal

```
/* Área de um triangulo com sinal
   É o produto vetorial b-a e c-a dividido por 2 */
double signed_triangle_area(TPoint a, TPoint b, TPoint c){
    return (is_left(a,b,c)/2.0);
}
```

8.6. Dois pontos para equação da reta

```
/* Transforma dois pontos em uma equação de reta
   na forma Ax+By=C.
   y=m*x+b -> -mx+y=b -> -(dy/dx)x+y=b ->
   mult por dx -> (-dy)*x+(dx)*y=(dx)*b
   entao, A=-dy; B=dx; C=A*x1 + B*x2 */
TLine points_to_line(TPoint a, TPoint b){
    TLine l;
    l.A=b.Y-a.Y;
    l.B=a.X-b.X;
    l.C=l.A*a.X+l.B*a.Y;
    return l;
}
```

8.7. Reta perpendicular à reta

```
/* Retorna uma linha perpendicular à linha passada como
   parametro, no ponto especificado.
   Ax+By=C -> -Bx+Ay=D */
TLine line_perp(TLine l, TPoint p){
    TLine r;
    r.A = -l.B;
    r.B = l.A;
    r.C = r.A*p.X+r.B*p.Y;
    return r;
}
```

8.8. Ponto de intersecção entre duas retas

```
/* Calcula ponto de intersecção de duas retas.
   Retorna true se as retas se intersectam,
   false caso sejam paralelas ou coincidentes. */
TPoint intersection_point(TLine l1, TLine l2){
    TPoint p;
    // Regra de CRAMER
    double D = l1.A*l2.B - l1.B*l2.A,
           Dx = l1.C*l2.B - l1.B*l2.C,
           Dy = l1.A*l2.C - l1.C*l2.A;

    // O sistema pode ter nenhuma ou infinitas soluções
    if(D==0) return p; //linhas sao paralelas
    p.X = Dx/D;
    p.Y = Dy/D;
    return p;
}
```

8.9. Intersecção de segmentos

```
/* Pre-conditions: point x is known to be collinear with
   segment p1-p2
   Return: true if x lies between p1 and p2
           false otherwise */

bool __onSegment(TPoint p1, TPoint p2, TPoint x){
    if( (x.X>=min(p1.X, p2.X) && x.X<=max(p1.X, p2.X)) &&
        (x.Y>=min(p1.Y, p2.Y) && x.Y<=max(p1.Y, p2.Y)) )
        return true;
    return false;
}

/* Return: true if segments p1-p2 and p2-p3 intersect
           false otherwise */
bool segmentsIntersect(TPoint p1, TPoint p2, TPoint p3,
                       TPoint p4){
    double d1, d2, d3, d4;
    d1 = is_left(p3, p4, p1);
    d2 = is_left(p3, p4, p2);
    d3 = is_left(p1, p2, p3);
    d4 = is_left(p1, p2, p4);

    if( ((d1>0&&d2<0) || (d1<0&&d2>0)) &&
        ((d3>0&&d4<0) || (d3<0&&d4>0)) ) return true;
    if( !d1 && __onSegment(p3, p4, p1) ) return true;
    if( !d2 && __onSegment(p3, p4, p2) ) return true;
    if( !d3 && __onSegment(p1, p2, p3) ) return true;
    if( !d4 && __onSegment(p1, p2, p4) ) return true;
    return false;
}
```


8.10. Centro da circunferência dado 3 pontos

```

/* Retorna o centro de uma circunferencia dado 3 ptos.
   Encontra a linha perpendicular à ab e à bc. Calcula o pto
   de intersecção entre elas, q eh o centro da circunferencia.
   Os 3 ptos nao podem ser colineares!.*
TBall points_to_ball(TPoint a, TPoint b, TPoint c){
    TBall ball;
    TPoint p_ab, p_bc;
    TLine l_ab, l_bc, l_perp_ab, l_perp_bc;

    l_ab = points_to_line(a,b);
    l_bc = points_to_line(b,c);

    p_ab.X = (a.X+b.X)/2.0;
    p_ab.Y = (a.Y+b.Y)/2.0;
    p_bc.X = (b.X+c.X)/2.0;
    p_bc.Y = (b.Y+c.Y)/2.0;

    l_perp_ab = line_perp(l_ab, p_ab);
    l_perp_bc = line_perp(l_bc, p_bc);

    ball.c = intersection_point(l_perp_ab, l_perp_bc);
    ball.r = point_point_dist(ball.c, a);
    return ball;
}

```

8.11. Distância esférica

```

#define RADIUS 6378 /* raio da esfera */
#define PI 3.141592653589793

//Primeiro algoritmo
long double spherical_distance(long double p_lat,
    long double p_long, long double q_lat, long double q_long){
    return (acos(sin(p_lat)*sin(q_lat) +
        cos(p_lat)*cos(q_lat)*cos(p_long)*cos(q_long) +
        cos(p_lat)*cos(q_lat)*sin(p_long)*sin(q_long))*RADIUS);
}

//Algoritmo alternativo
double spherical_distance(double lat1, double lon1,
    double lat2, double lon2) {
    double dlon = lon2 - lon1;
    double dlat = lat2 - lat1;
    double a = pow((sin(dlat/2)),2) +
        cos(lat1) * cos(lat2) * pow(sin(dlon/2), 2);
    double c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1-a));
    double d = RADIUS* c;
    return d;
}

```

8.12. Ponto no polígono

```
bool __onSegment(TPoint p1, TPoint p2, TPoint x){
    if( (x.X>=min(p1.X, p2.X) && x.X<=max(p1.X, p2.X)) &&
        (x.Y>=min(p1.Y, p2.Y) && x.Y<=max(p1.Y, p2.Y)) )
        return true;
    return false;
}

/* Verifica se um pto pertence ou nao a um poligono.
   Traça uma reta do ponto até infinito e conta o numero de
   vezes que corta a borda do poligono. Se for par, retorna
   zero (fora), se for impar retorna um (dentro) e se estiver
   na borda retorna dois.
   Casos especiais: reta infinita cruza um vertice
   OBS: ESTE ALGORITMO FUNCIONA APENAS PARA POLIGONO COM
   ARESTAS VERTICAIS E HORIZONTAIS!! (por causa do caso
   especial citado acima) */
int point_in_polygon(TPolygon h, TPoint a){
    TPoint b; //extremidade da reta a-b
    int c=0;
    b.X = 11000; //X INFINITO
    b.Y = 0; //Y INFINITO

    for(int i=0; i<h.size(); i++){
        //verifica se está na borda
        if(is_left(h[i], h[(i+1)%h.size()], a)==0 &&
            __onSegment(h[i], h[(i+1)%h.size()], a) )
            return 2; //BORDA
        // Se a reta inf. cruza uma aresta do poligono e nao
        cruza um vertice do poligono
        if(segmentsIntersect(h[i], h[(i+1)%h.size()], a, b))
            c++;
    }
    return c%2;
}
```

8.13. Área do Polígono

```
//We will triangulate the polygon
//into triangles with points p[0],p[i],p[i+1]
double polygon_area(TPolygon p){
    double area=0.0, cross;
    for(int i = 1; i+1 < p.size(); i++){
        double x1 = p[i].X - p[0].X;
        double y1 = p[i].Y - p[0].Y;
        double x2 = p[i+1].X - p[0].X;
        double y2 = p[i+1].Y - p[0].Y;
        cross = x1*y2 - x2*y1;
        area += cross;
    }
    return ABS(area/2.0);
}
```

8.14. Convex Hull

TPoint first_point;

/* Compara os angulos formados por first_point-a e first_point-b. A ordenacao deve ser do maior angulo para o menor angulo (formado com o eixo y).

Caso 2 ptos possuam o mesmo angulo, pega o pto mais distante */

```
bool __smaller_angle(const TPoint &a, const TPoint &b){
    if(is_left(first_point, a, b)==0)

if(point_point_dist(first_point,a)<=point_point_dist(first_poin
t,b))
    return false;
    else
        return true;
    if(is_left(first_point, a, b)>0)
        return false;
    return true;
}

struct __menorQue{
    bool operator()(const TPoint& a, const TPoint& b){
        if(a.Y<b.Y) return true;
        if(a.Y>b.Y) return false;
        if(a.X<b.X) return true;
        if(a.X>b.X) return false;
        return false;
    }
};
```

/* Convex hull - Algoritmo de Graham Scan

Recebe como parâmetro uma lista de pontos, os quais podem ter ptos duplicados.

Retorna caso n>3 um poligono, com seus ptos seguindo a direcao horaria.

O primeiro elemento é o ultimo elemento do hull. {(1,1), (1,2),(2,2),(2,1),(1,1)} caso n<3 retorna os mesmos pontos. */

```
void convex_hull(vector< TPoint > &in, TPolygon &hull){
    int i, top;
    // Ordena os pontos e remove ptos duplicados
    set< TPoint, __menorQue > tempSet(ALL(in));
    in.erase(ALL(in));
    vector< TPoint > p(ALL(tempSet));

    //Pivô
    first_point = p[0];

    //Ordena de acordo com os angulos formados com o pivô
    sort(p.begin()+1, p.end(), __smaller_angle);

    if(p.size()<=2){
        for(int i=0; i<p.size(); i++)
            hull.push_back(p[i]);
        //hull.push_back(p[0]);
        return;
    }
    hull.push_back(p[0]);
    hull.push_back(p[1]);

    p.push_back(first_point); // copia o primeiro pto no
    final, para qdo der a volta completa

    top=1; //Topo da pilha dos ptos
    i=2;
```

```

//Percorre os ptos ordenados
while(i<p.size()){
    if(is_left(hull[top-1],hull[top],p[i])>=0){ //Permite
que só vire à direita
        top--;
        hull.pop_back();
    }
    else{
        top++;
        hull.push_back(p[i]);
        i++;
    }
}
}

```

```

int main(){
TPolygon hull;
vector< TPoint > in;
int n;
double x,y;

while(scanf("%d", &n)==1){
    in.erase(ALL(in));
    hull.erase(ALL(hull));
    for(int i=0; i<n; i++){
        scanf("%lf %lf", &x, &y);
        in.push_back(make_pair(x,y));
    }
    convex_hull(in, hull);
    for(int i=0; i<hull.size(); i++)
        printf("%lf %lf\n", hull[i].X, hull[i].Y);
    printf("\n");
}
return 0;
}

```

9. Matemática Geral

9.1. Primalidade

```
int isPrime(int n){
    if(n == 2 || n == 3)
        return 1;
    if(n <= 1 || n%2 == 0)
        return 0;
    for(int i=3; i*i <= n; i += 2)
        if(n%i == 0)
            return 0;
    return 1;
}
```

9.2. Exponenciação

```
long square(long n) { return n*n; }

//Maneira eficiente de calcular a^n
long fastexp(long base, long power) {
    if(power == 0) return 1;
    if(power%2 == 0) return square(fastexp(base,power/2));
    return base*(fastexp(base,(power-1)    ));
}

int main(){
    long k, n, p;
    while(cin>>n>>p){
        cout << fastexp(n, p ) << endl;
    }
    return 0;
}
```

9.3. BigInt

```
const int DIG = 4;
const int BASE = 10000;
const int TAM = 2048;

struct bigint{
    int v[TAM], n;
    bigint(int x = 0): n(1){
        memset(v, 0, sizeof(v));
        v[n++] = x; fix();
    }
    bigint(char *s): n(1){
        memset(v, 0, sizeof(v));
        int sign = 1;
        while(*s && !isdigit(*s)) if(*s++ == '-') sign *= -1;
        char *t = strdup(s), *p = t + strlen(t);
        while(p > t){
            *p = 0; p = MAX(t, p - DIG);
            sscanf(p, "%d",&v[n]);
            v[n++] *= sign;
        }
        free(t); fix();
    }
    bigint& fix(int m = 0){
        n = MAX(m,n);
        int sign = 0;
        for(int i=1, e=0; i<=n || e && (n = i); i++){
            v[i] += e; e = v[i]/BASE; v[i] %= BASE;
            if(v[i]) sign = (v[i] > 0) ? 1 : -1;
        }
        for(int i = n-1; i > 0; i--)
            if(v[i]*sign < 0){ v[i] += sign*BASE; v[i+1] -= sign;}
        while(n && !v[n]) n--;
        return *this;
    }
}
```

```

bool operator <(const bigint& x) const { return cmp(x) < 0; }
bool operator ==(const bigint& x) const { return cmp(x) == 0; }
bool operator !=(const bigint& x) const { return cmp(x) != 0; }
operator string() const{
    ostringstream s; s << v[n];
    for(int i = n - 1; i > 0; i--){
        s.width(DIG); s.fill('0'); s << ABS(v[i]);
    }
    return s.str();
}
friend ostream& operator <<(ostream& o, const bigint& x){
    return o << (string) x;
}
bigint& operator +=(const bigint& x){
    for(int i = 1; i <= x.n; i++) v[i] += x.v[i];
    return fix(x.n);
}
bigint operator +(const bigint& x){
    return bigint(*this) += x;
}
bigint& operator -=(const bigint &x){
    for(int i = 1; i <= x.n; i++) v[i] -= x.v[i];
    return fix(x.n);
}
bigint operator -(const bigint& x){ return bigint(*this) -=
x; }
bigint operator -(){ bigint r = 0; return r -= *this; }
void ams(const bigint& x, int m, int b){
    // *this += (x * m) << b;
    for(int i = 1, e = 0; (i <= x.n || e) && (n = i + b); i++){
        v[i+b] += x.v[i] * m + e; e = v[i+b]/BASE; v[i+b] %= BASE;
    }
}

```

```

bigint operator *(const bigint& x) const {
    bigint r;
    for(int i = 1; i <= n; i++) r.ams(x, v[i], i-1);
    return r;
}
bigint& operator *=(const bigint& x){return *this = *this *
x; }
bigint& operator /=(const bigint& x){ return *this = div(x); }
bigint& operator %=(const bigint& x){ div(x); return *this; }
bigint operator /(const bigint& x){
    return bigint(*this).div(x); }
bigint operator %(const bigint& x){ return bigint(*this) %=
x; }
bigint div(const bigint& x){
    if(x == 0) return 0;
    bigint q; q.n = MAX(n - x.n + 1, 0);
    int d = x.v[x.n] * BASE + x.v[x.n-1];
    for(int i = q.n; i > 0; i--){
        int j = x.n + i -1;
        q.v[i] = int((v[j] * double(BASE) + v[j-1])/d);
        ams(x, -q.v[i], i-1);
        if(i == 1 || j == 1) break;
        v[j-1] += BASE * v[j]; v[j] = 0;
    }
    fix(x.n); return q.fix();
}
bigint pow(int x){
    if(x < 0) return (*this == 1 || *this == -1) ? pow(-x) : 0;
    bigint r = 1;
    for(int i = 0; i < x; i++) r *= *this;
    return r;
}

```

```

bigint root(int x){
    if(cmp() == 0 || cmp() < 0 && x%2 == 0) return 0;
    if(*this == 1 || x == 1) return *this;
    if(cmp() < 0) return -(*this).root(x);
    bigint a = 1, d = *this;
    while(d != 1){
        bigint b = a + (d /= 2);
        if(cmp(b.pow(x)) >= 0){ d += 1; a = b; }
    }
    return a;
}
};

```

9.4. Módulo com BigInt

Cada dígito do número é armazenado no vetor. No exemplo abaixo retorna true caso seja divisível por 4.

```

int nbr[MAX];
int len;

bool div4(){
    int d = 0, rem;

    for(int i=0; i<len; i++){
        rem = (d*10 + nbr[i])%4;
        d = rem;
    }
    if(d == 0)
        return true;
    return false;
}

```

9.5. BigMod

/* Esse algoritmo calcula $r = b^p \bmod n$. Recebe como parametros b , p e n , retornando r .

Esse algoritmo se baseia na idéia: $(A*B*C) \bmod N == ((A \bmod N) * (B \bmod N) * (C \bmod N)) \bmod N$. */

```

unsigned long long square(unsigned long long x){
    return x*x;
}

```

```

unsigned long long bigMod(unsigned long long b, unsigned long
long p, unsigned long long m){
    if(p == 0)
        return 1;

    if(p%2 == 0) // square(x) = x * x
        return square(bigMod(b, p/2, m)) % m;
    return ((b % m) * bigMod(b, p-1, m)) % m;
}

```

```

int main(){
    unsigned long long b, p, m;

    while(cin>>b>>p>>m)
        cout<<bigMod(b, p, m)<<endl;

    return 0;
}

```

9.6. Combinatória C(n,k) com n e k grandes

```

long gcd(long a, long b){
    if (a%b==0) return b;
    return gcd(b, a%b);
}

void Divbygcd(long& a, long& b){
    long g = gcd(a,b);
    a/=g; b/=g;
}

long C(int n, int k){
    long numerator=1, denominator=1, toMul, toDiv, i;

    if (k>n/2) k=n-k; /* use smaller k!!!, note
                        C(10,6)==C(10,4)*/
    for (i=k; i; i--){
        toMul=n-k+i;
        toDiv=i;
        Divbygcd(toMul, toDiv); /* always divide before multiply */
        Divbygcd(numerator, toDiv);
        Divbygcd(toMul, denominator);
        numerator*=toMul;
        denominator*=toDiv;
    }
    return numerator/denominator;
}

int main(){
    long n, k;
    while(1){
        scanf("%ld %ld", &n, &k);
        printf("C(%ld, %ld)=%ld\n", n, k, C(n, k));
    }
}

```

9.7. Quantidade aproximada de primos $\leq N$

```

long arredonda(double x){
    double i, f;
    f = modf(x, &i);
    if(f>=0.5) return (unsigned long long)ceil(x);
    return (unsigned long long)i;
}

//Retorna a qtd de nros primos menores ou iguais a n
long qtdNrosPrimos(long n){
    return arredonda(n/log(n));
}

```


9.8. Fibonacci com BigNum

```

void inicializaBigNum(char *a){
    a[TAM_MAX-1] = '\0';
    for(int i=TAM_MAX-2; i>=0; i--) a[i] = '0';
}

void soma(char *a, char *b, char *result){
    int d1, d2, s, ch, carry=0;

    result[TAM_MAX-1] = '\0';
    for(int i= TAM_MAX-2; i>=0 ; i--){
        d1 = a[i];
        d2 = b[i];
        s = (d1 - '0') + (d2 - '0') + carry;
        ch = (s%10) + '0';
        carry = s/10;

        result[i] = ch;
    }
}

void invert(char *str){
    unsigned long j, i;
    int ch;
    j = TAM_MAX-1;
    i = strlen(str);
    if( i==j ) return;

    while(i>=0)
        str[j--] = str[i--];
}

```

```

int main(){
    char a[TAM_MAX], b[TAM_MAX], f[TAM_MAX];
    unsigned long n, i;

    while( scanf("%ld", &n) == 1 ){
        inicializaBigNum(a);
        inicializaBigNum(b);
        inicializaBigNum(f);
        a[TAM_MAX-1] = '\0';
        a[TAM_MAX-2] = '1';
        b[TAM_MAX-1] = '\0';
        b[TAM_MAX-2] = '1';
        f[TAM_MAX-1] = '\0';
        f[TAM_MAX-2] = '1';

        for(i=3; i<=n; i++){
            //f(n) = f(n-1) + f(n-2)
            soma(a, b, f);
            strcpy(a, b);
            strcpy(b, f);
        }
        for(i = 0; i<TAM_MAX-1; i++)
            if(f[i]!='0') break;

        while(i<TAM_MAX-1)
            printf("%c", f[i++]), n++;
    }
    return 0;
}

```

9.9. Manipulação de bits: Decimal para binário

```
int main(){
int n, d, aux, DES = 8 * (sizeof(int)) - 1, MASK = 1 << DES, i;
while(cin>>n){
    i=0;
    while(i<sizeof(int)*8){
        i++;
        d = (n&MASK) ? 1:0;
        cout<<d<<" ";
        if(!(i%8)) cout<<" ";
        n = (n<<1);
    }
    cout << endl;
}
return 0;
}
```

9.10. Crivo de Eratóstenes - Sieve

```
// Super fast & Memory-tight Sieve by Yarin
#define MAXSIEVE 100000000 // All prime numbers up to this
#define MAXSIEVEHALF (MAXSIEVE/2)
#define MAXSQRT 5000 // sqrt(MAXSIEVE)/2
char a[MAXSIEVE/16+2];
#define isprime(n) (a[(n)>>4]&(1<<(((n)>>1)&7))) // Works when
n is odd

//Does not verify 1 nor 2
//have to check for even numbers
void sieve(){
    int i,j;
    memset(a,255,sizeof(a));
    a[0]=0xFE;
    for(i=1;i<MAXSQRT;i++)
        if (a[i>>3]&(1<<(i&7)))
            for(j=i+i+i+1;j<MAXSIEVEHALF;j+=i+i+1)
                a[j>>3]&=~(1<<(j&7));
}

int ehPrimo(unsigned long long n){
    if(n<=1) return 0;
    if(n==2 || (n%2) && isprime(n)) return 1;
    return 0;
}
```

9.11. Segment Sieve - Números primos em um intervalo

Obs: $L \leq U$; retorna os números primos no intervalo $[L, U]$

```
long long *primos, numprimos;
void segmentSieve(long long L, long long U) {
    long long i, j, d;
    d = U - L + 1; // from range L to U, we have d = U - L + 1 numbers.
    // use flag[i] to mark whether (L+i) is a prime number or not
    bool *flag = new bool[d];

    for (i = 0; i < d; i++) flag[i] = true; // mark all true

    for (i = (L % 2 != 0); i < d; i += 2)
        flag[i] = false; // mark even numbers as false

    /* sieve by prime factors starting from 3 till sqrt(U) */
    for (i = 3; i <= sqrt(U); i += 2) {
        if (i > L && !flag[i - L]) continue;
        /* choose the first number to be sieved -- >= L,
           divisible by i, and not i itself! */
        j = L / i * i;
        if (j < L) j += i;
        if (j == i) j += i; // if j prime, start from next one

        j -= L; /* change j to the index representing j */
        for (; j < d; j += i) flag[j] = false;
    }
    /* mark 1 as false, 2 as true */
    if (L <= 1) flag[1 - L] = false;
    if (L <= 2) flag[2 - L] = true;
    /* output the result */
    primos = new long long [d];
    for (i = 0, j = 0; i < d; i++) if (flag[i]) primos[j++] = (L + i);
    numprimos = j;
}
```

9.12. Fatores Primos de um número

Obs: Usa o segmentSieve

```
#define MAX 47000

long long *primos, numprimos;

int main() {
    long long n, i;

    segmentSieve(1, MAX);

    while (cin >> n) {
        if (n == 0) break;
        cout << n << " = ";
        if (n < 0) { cout << " -1 x"; n = -n; }
        i = 0;
        while (true) {
            while (n % primos[i] == 0) {
                cout << " " << primos[i];
                n = n / primos[i];
                if (n != 1) cout << " x";
            }
            if (n <= 1) break;
            i++;
            if (i >= numprimos) { cout << " " << n; break; }
        }
        cout << endl;
    }
    return 0;
}
```

9.13. GCD

```
long long gcd(long long a, long long b){
    if( b == 0)
        return a;
    return gcd(b,a%b);
}
```

9.14. GCD/LCM

/* Encontra o gcd(p,q) pelo metodo de Euclides and x,y tal que $p \cdot x + q \cdot y = \text{gcd}(p,q)$
 Teorema: Se p e q são inteiros, nao sendo ambos 0, entao o menor elemento positivo do conjunto $\{ px + qy : x, y \text{ pertencentes a } \mathbb{Z} \}$
 0 gcd(p, q) é uma combinacao linear.*/

```
long long gcd(long long p, long long q, long long &x,
              long long &y){
    long long x1,y1; /* previous coefficients */
    long long g;      /* value of gcd(p,q) */

    if (q > p)
        return( gcd(q, p, y, x) );
    if(q == 0){
        x = 1;
        y = 0;
        return(p);
    }
    g = gcd(q, p%q, x1, y1);
    x = y1;
    y = (x1 - floor(p/q)*y1);

    return(g);
}
```

```
long long lcm(long long x, long long y){
    long long a, b;
    //calcula otimizado (x * (...))
    return ( x* (y/gcd(x, y, a, b)) );
}

/* Dois números são primos entre si se o gcd entre eles é 1 */
bool primosEntreSi(long long x, long long y){
    long long t, r;
    if(gcd(x, y, t, r)==1) return true;
    return false;
}

int main(){
    long long x, y, p, q, d, m;
    while(cin>>x>>y){
        d = gcd(x, y, p, q);
        m = lcm(x, y);
        cout<<"gcd("<<x<<"<<y<<"<<"= "<<d<<endl;
        cout<<"p="<<p<<"<<"q="<<q<<endl;
        cout<<"lcm("<<x<<"<<y<<"<<"= "<<m<<endl;
        if(primosEntreSi(x, y))
            cout<<"Sao primos entre si"<<endl;
        else
            cout<<"Nao sao primos entre si"<<endl<<endl;
    }
    return 0;
}
```

9.15. Método Newton-Raphson

Método encontra a raiz de uma equação a partir da fórmula abaixo, onde x_0 é um chute inicial, a precisão aumenta conforme a diferença entre x_1 e x_0 diminui. Método f calcula a $f(x)$ no ponto x_0 , e método d calcula $f'(x)$ no ponto x_0 .

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$$

```
double f(double x0) { ... }
```

```
double d(double x0) { ... }
```

```
double newton_raphson(double x0){  
    double x1;  
    double diff = 1.0;  
  
    while(diff > EPS){  
        x1 = x0 - (f(x0)/d(x0));  
        diff = abs(x1 - x0);  
        x0 = x1;  
    }  
    return x1;  
}
```

10. Busca

10.1. Knuth-Morris-Pratt

Algoritmo procura por uma substring P em uma string S. Retorna o índice inicial que corresponde ao padrão em S, caso não encontre retorna -1. Testado com o problema 11475.

S=ABCDEGH P=ADE => retorna 3

```
int a[MAX], n, m;
char S[MAX], P[MAX];

void calculatePrefix() {
    int i = 0, j = -1;
    a[0] = -1;
    while(i < m){
        while (j >= 0 && P[i] != P[j])
            j = a[j];
        i++; j++;
        a[i] = j;
    }
}

int KMP(){
    int i = 0, j = 0;
    calculatePrefix();
    while(i < n){
        while(j >= 0 && S[i] != P[j])
            j = a[j];
        j++; i++;
        if(j == m)
            return i - m;
    }
    return -1;
}
```

10.2. Binary Search

Busca pelo elemento key no vetor ordenado, retorna o índice do vetor, caso não encontre o elemento retorna -1.

```
int v[MAX];
int binarySearch(int start, int end, int key){
    if(start > end)
        return -1;
    int mid = (start + end)/2;
    if(v[mid] > key)
        return binarySearch(start, mid-1, key);
    if(v[mid] < key)
        return binarySearch(mid + 1, end, key);
    return mid;
}
```

10.3. Ternary Search

//Função que deverá ser encontrado a solução máxima/mínima
double f(double x){ }

```
/* Função para encontrar máximo/mínimo em um intervalo.
A função deve ser estritamente crescente e em seguida
estritamente decrescente, ou vice versa (Forma um bico,
que é a solução ótima. */
double ternarySearch(double right, double left){
    if(right-left < EPS) return (left+right)/2.0;
    double leftThird = (left*2.0 + right)/3.0;
    double rightThird = (left + right*2.0)/3.0;
    if(f(leftThird) < f(rightThird))
        return ternarySearch(leftThird, right);
    else
        return ternarySearch(left, rightThird);
}
```

10.4. Segment Tree

Algoritmo encontra o índice com o maior ou menor valor no intervalo [i..j] do vetor A e armazena em M. Abordagem utiliza estrutura de dados que constrói um árvore binária semelhante a um heap, onde cada nó armazena o índice no intervalo.

Para executar o algoritmo é preciso construir a árvore chamando a função build_segment_tree e depois realizar consultas com a função query.

Testado com o problema 11235

```
int M[MAX], A[MAX];

void build_segment_tree(int node, int start, int end){
    if(start == end)
        M[node] = start;
    else {
        int left = 2*node;
        int right = 2*node + 1;
        int mid = (start+end)/2;

        build_segment_tree(left, start, mid);
        build_segment_tree(right, mid+1, end);
        if(A[M[2*node]] >= A[M[(2*node)+1]])
            M[node] = M[2*node];
        else
            M[node] = M[(2*node)+1];
    }
}
```

```
int query(int node, int start, int end, int i, int j){
    int p1, p2;

    if(i > end || j < start)
        return -1;
    if(start >= i && end <= j)
        return M[node];

    int left = node*2;
    int right = node*2 + 1;
    int mid = (start + end)/2;
    p1 = query_segment_tree(left, start, mid, i, j);
    p2 = query_segment_tree(right, mid+1, end, i, j);

    if( p1 == -1)
        return p2;
    if( p2 == -1)
        return p1;

    if( A[p1] >= A[p2] )
        return p1;
    return p2;
}

int A[] = {8,7,3,9,14,1,10};
build_segment_tree(1,0,6);
query(1,0,6,2,5);
// retorna índice do maior elemento no intervalo [2-5],
// portanto, o resultado é 4.
```