[Magee 1999] Concurrency – State Models and Java Programs, *Jeff Magee, Jeff Kramer*, John Wiley 1999.

[Gosling] "The Java Language Specification" James Gosling, Bill Joy and Guy Steele, Addison-Wesley. http://java.sun.com/docs/books/jls/index.html

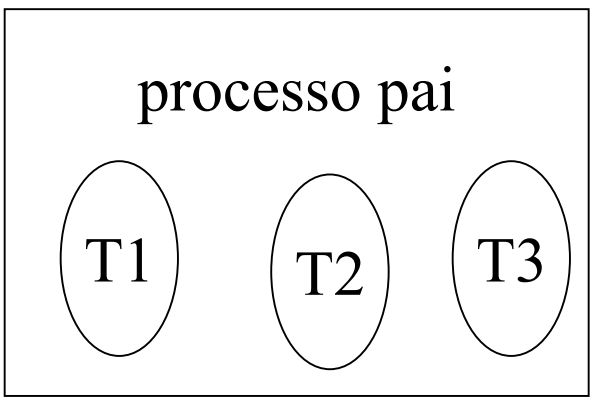
[Berg99] "Advanced Techniques for Java Developers" *Daniel J. Berg and J. Steven Fritzinger*, Jhon Willey & Sons, 1999.

Definição:

"Thread" – sequência de execução independente

As várias threads de um processo partilham o mesmo espaço de endereçamento que o processo (pai) que lhe deu origem.

4 processos em execução simultânea



cria 3 threads

Criação de Threads em Java

Hipótese 1:

subclasse de Thread

```
public class MinhaThread_1 extends Thread {

  public MinhaThread_1(){
      Thread T = new Thread (this);
      T.start();
  }
```

objecto que contém o método run()

método definido na classe Thread, invoca o método run()

≈ super();
start();

```
public void run(){
```

define o código a ser executado pela Thread

Ex.lo

```
    while (true) {
        ....
        if (isInterrupted() )
            break;
    }
}// run
} //classe MinhaThread_1
public class Teste{
  public static void main (String [] args){
      MinhaThread_1 T1 = new MinhaThread_1();
  }
}
```

Hipótese 2:

```
public class MinhaThread_2 extends Thread {
  public void run () {
        ...
  }
}
```

iniciar a execução da thread na classe Teste →

```
public class Teste{
   public static void main (String [] args){
         MinhaThread_2 Ta, Tb;
         Ta =  new MinhaThread_2();
         Tb =  new MinhaThread_2();
         Ta.start();
         Tb.start();
   }
}
```

Se quisermos aceder a variáveis do processo principal?

- Passamos como parâmetros as referências dessas variáveis(objectos)

```
public class MinhaThread extends Thread {
      ObjectoPartilhado O;
      public MinhaThread ( ObjectoPartilhado o ){
          O = o ;
          Thread T = new Thread( this);
          T.start();
      }
     public void run(){
          ...
          O....
     }
}
```

endereço do objecto partilhado

aceder ao objecto partilhado

Hipótese 3: - se a classe já for subclasse de outra classe?

```
public class MinhaThread_3 implements Runable {
    public void run(){
       ...
    }
}
```

classe que implementa o método run()

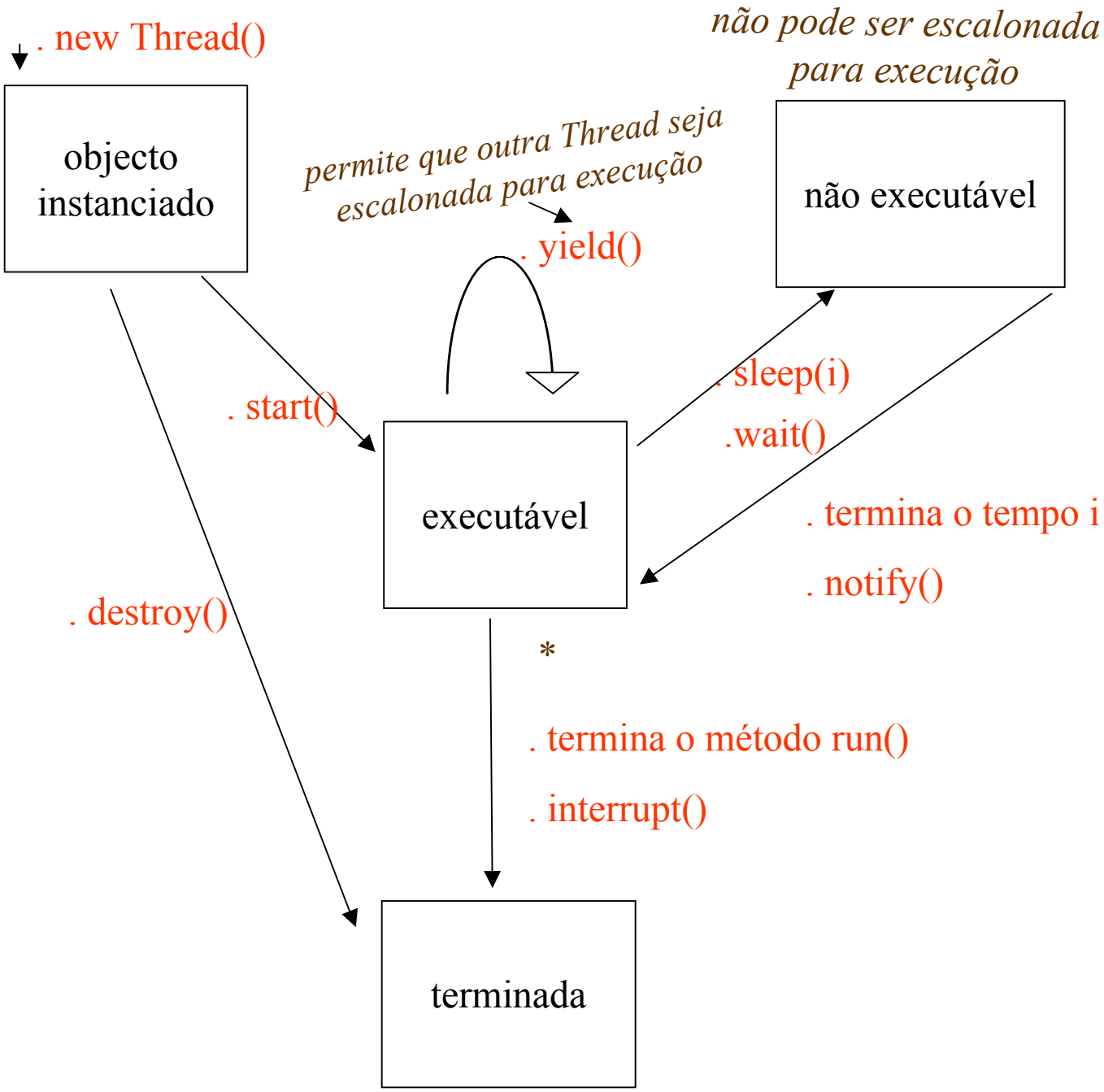
```
public interface Runable {
    public abstract void run();
}
```

```
public class Teste{
  public static void main (String [] args){
        MinhaThread_3 Tc;
        Tc =  new MinhaThread_3();
        Thread T = new Thread (Tc);
        T.start();
  }
}
```

"runable object"

iniciar a execução

Diagrama de estados possíveis para uma Thread



** uma Thread no estado executável, não está necessariamente em execução, apenas pode ser escalonada para execução*

Sincronização de Threads

. mecanismo baseado no conceito de monitor

Existe um lock associado a cada objecto — *lock de objecto*

e um lock associado a cada classe. — *lock de classe*

A instrução

referência para o objecto

synchronized (expressão)

{ instruções }

a) após calcular a referência para o objecto, mas antes de executar o corpo de instruções:

- adquire o lock associado ao objecto,

(caso este não pertença já a alguma outra thread)

- executa o corpo de instruções

b) Após executar o corpo de instruções

- liberta o lock

(se a execução do bloco de instruções termina anormalmente i. é, falha a meio, o lock é libertado)

Notas:

1. Um método pode ser declarado como synchronized,

(comporta-se como se estivesse contido numa instrução synchronized)

2. O facto de uma Thread adquirir o lock associado a um objecto, não impede que outras Threads acedam aos campos do objecto ou possam invocar métodos não sincronizados.

3. Se o método sincronizado é um método de instância:

- a Thread adquire o lock do objecto (associado a this);

- todas as Threads que tentem executar esse mesmo método no mesmo objecto terão que esperar, competindo pela aquisição do lock.

4. Se o método sincronizado é um método de classe:

- a Thread adquire o lock da classe;

- todas as Threads que tentam executar esse método, em qualquer objecto da classe, terão que esperar que o lock seja libertado.

Exemplo 1:

```
public class Exemplo{
   private int x;
   private  static int s;
   public synchronized void M1()
  {  x++;  }
   public static synchronized void M2()
   {  s++;}
}
```

É equivalente a,

```
public class Exemplo{
  private int x;
  private  static int s;
  public void M1(){
        synchronized (this)
        { x++; }
  }
  public static void M2(){
     try { synchronized (Class.forName( "Exemplo") )
         { s++; }
     }
     catch (classNotFoundException e)  {...}
  }
}
```

Exemplo 2:

i) public class Exemplo2{

```
    private int a = 1, b = 2;
    public void ab()
    {  a = b; }
     public void ba()
    { b = a; }
}
```

a=2,b=1| a=2,b=2| a=1,b=1

Sejam duas Threads, T1 e T2. Supondo que

T1 invoca o método ab e

T2 invoca o método ba no mesmo objecto,

quais são os possíveis valores finais para a e b em cada caso, i) e ii) ?

ii) public class Exemplo3{

```
    private int a = 1, b = 2;
    public synchronized void ab()
    {  a = b; }
     public synchronized void ba()
    { b = a; }
}
```

a=2,b=2| a=1,b=1

E nos casos iii, iv e v quais são os outputs possíveis?

iii)
```
public class Exemplo4{
    private int a = 1, b = 2;
    public void M1()
    {  a = 3; b = 4; }
     public void M2()
    { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
}
```

a=3,b=4| a=3,b=2| a=1,b=2| a=1,b=4

iv)
```
public class Exemplo5{
    private int a = 1, b = 2;
    public synchronized void M1()
    {a = 3; b = 4; }
     public void M2()
    { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
}
```

a=3,b=4| a=3,b=2| a=1,b=2| a=1,b=4

- o facto de um método ser sincronizado não faz com que se comporte como se fosse uma instrução atómica

v)
```
public class Exemplo6{
    private int a = 1, b = 2;
    public synchronized void M1()
    {a = 3; b = 4; }
     public synchronized void M2()
    { System.out.println ("a=" + a + "b=" + b); }
}
```

a=3,b=4| a=1,b=2

Transferência de controle entre Threads

Os métodos

wait(),

notify()

notifyAll(), da classe Object,

Permitem a transferência de controlo de uma Thread para outra.

Só podem ser executados por uma Thread que detenha o lock do objecto

Método wait():

"excepção verificável"

"excepção não verificável"

public final void wait() throws InterruptedException, IllegalMonitorStateException;

public final void wait(long timeout) throws ...

public final void wait(long timeout, int nanos) throws ...

A Thread que executa o wait() suspende-se a si própria.

Cada objecto, alem de ter um lock associado, tem também um "wait set", que contém a referência de todas as Threads que executam um wait sobre o objecto.

a) Quando o objecto é criado,

- o "wait set" está vazio

Seja uma Thread T que adquiriu o lock do objecto,

b) Ao executar o wait(), T:

1 – é adicionada ao "wait set"

2 – é suspensa (passa ao estado "não executável")

3 – liberta o lock que detinha

c) A Thread T permanece no estado "não executável" até que:

– alguma outra Thread invoque o método notify() para esse objecto, e T seja a Thread escolhida para ser notificada,

ou

– alguma outra Thread invoque o método notifyAll para esse objecto,

ou

– alguma outra Thread invoque o método interrupt() na Thread T,

ou

– se a invocação do método wait pela Thread T especificava um intervalo de tempo, e esse tempo tempo expirou

Após c)

1 – T é removida do "wait set"
(volta ao estado executável)

2 – Quando T é escalonada para execução, volta a adquirir o lock sobre o objecto

3 –T retorna ao ponto onde foi invocado o wait

Métodos notify() e notifyAll():

public final void notify() throws
IllegalMonitorStateException;

Se o "wait set" não está vazio,
é escolhida arbitrariamente uma Thread para ser retirada do conjunto e passar ao estado executável.

Se o "wait set" está vazio não tem qualquer efeito.

public final void notifyAll() throws
IllegalMonitorStateException;

Todas as Threads do "wait set" são removidas e passam ao estado executável.

Quando a Thread que executou o notifyAll() libertar o lock do objecto, poderão ser reescalonadas

Nota: o processo que executa o notify, não é suspenso

Caso de estudo:

1 - "Multithreaded server"

Suponhamos um servidor, que comunica a cada cliente que o solicita, a data e a hora do sistema:

Cliente

```
import java.net.*;
import java.io.*;
public class Cliente{
    private Socket s;
    public Cliente(){
      try {
         s = new Socket ("127.0.0.1", 5432);
         InputStream in = s.getInputStream();
         BufferedReader is = new BufferedReader(
                              new InputStreamReader(In));
         System.out.println(is.readLine());
         s.close();
       }
       catch ( IOException e)
       {   System.out.println(e.getMessage());}
    }
    public static void main (String args[]){
        Cliente c = new Cliente();
    }
}
```

Servidor:

```
public class Servidor {
   private ServerSocket ss;
   private Socket s;
   private Connection c;
   public Servidor(){
      try {
         ss = new ServerSocket (5432);
      }
      catch ( IOException e){ ...}
      try {
         while (true) {
               s = ss.accept();

               c =  new Connection (s);

         }
       }
       catch (IOException e) {...}
    }
    public static void main (String args[]){
            Servidor dataHora = new Servidor();
    }
}
```

aceita uma ligação pedida por um cliente

- O pedido é tratado por uma nova Thread;

- O ServerSocket pode aceitar outra(s) ligações

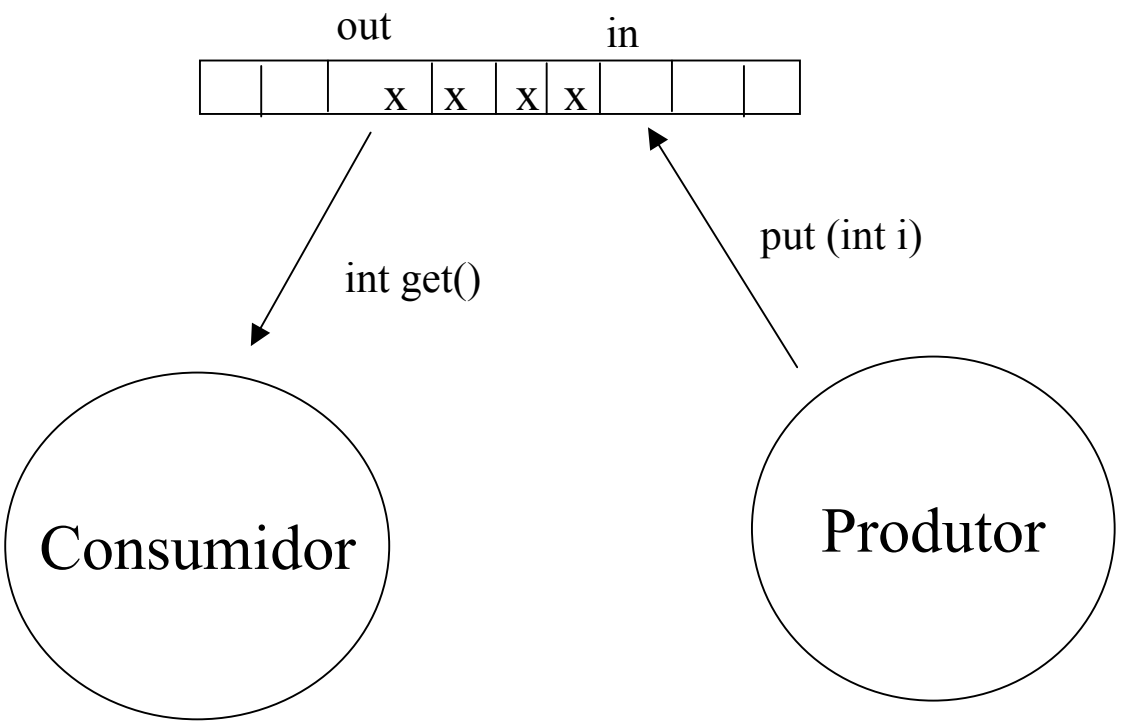
```
public class Connection extends Thread {
  private Socket S;
  public Connection ( Socket s) {
      S = s:
      Thread T = new Thread (this);
      T.start();
  }
  public void run () {
    try {
    PrintWriter os = new PrintWriter( S.getOutputStream(),
                                                    true);
    os.println ( "A data e hora do sistema: " +
                          new java.util.Date().toString());
    }
    catch ( IOException e) {...}
  }
}
```

Caso de estudo:

2 – O problema do Produtor / Consumidor

Dois processos, o Produtor e o Consumidor, partilham um bloco de memória comum (um "buffer"). O Produtor gera dados que coloca no buffer, de onde são retirados pelo Consumidor. Os items de dados têm que ser retirados pela mesma ordem por que foram colocados.

Implementar o problema considerando que o buffer tem capacidade finita, o que significa que o Produtor é suspenso quando o buffer está cheio, analogamente, o Consumidor é suspenso quando o buffer está vazio.



Nota: a existência de um buffer permite que variações na velocidade a que os dados são produzidos não tenham reflexo directo na velocidade a que os mesmos são consumidos.

```
public class Produtor extends Thread {
  Buffer B;
 public Produtor (Buffer b) {
    B = b;
    Thread P = new Thread (this);
    P.start();
 }
 public void run (){
    int  i ;
    while ( true){
        i = (int) (Math.random()*100);
        B.put(i);
    }
}
public class Consumidor extends Thread {
  Buffer B;
 public Produtor (Buffer b) {
    B = b;
    Thread C = new Thread (this);
    C.start();
 }
 public void run (){
    int  i ;
    while ( true){
        i = B.get();
        System.out.println( "Valor Consumido: " + i );
    }
}
```

```
public class teste{
   public static void main (String args[]){
      Buffer B = new Buffer(100);
      Produtor P1, P2;
      Consumidor C1, C2;
       P1 = new Produtor (B);
       P2 = new Produtor(B);
      C1 = new Consumidor (B);
      C2 = new Consumidor(B);
 }
}
public class Buffer {
   private int b[];
   private int dim, in, out, elementos;
   public Buffer (int n) {
      dim =n;
      b = new int [dim];
      in = 0;
      out = 0;
      elementos = 0;
   }
   private boolean cheio(){
     return (elementos = = dim);
  }
 private boolean vazio(){
     return (elementos = = 0);
  }
```

```
public synchronized int get (){
   while ( vazio() ) {
      try {
        wait ();
      }
      catch (InterruptedException e)
      { ...}
   }
   int i = b[out];
   out = (out + 1 )% dim;
   elementos --;
   notifyAll();
   return(i);
}
```

```
public synchronized void put (int i){
    while ( cheio() ) {
        try {
          wait ();
        }
        catch (InterruptedException e)
        { ...}
    }
    b[in] = i;
    in = (in + 1 )% dim;
    elementos ++;
    notifyAll();
}
} // class Buffer
```

Nos métodos anteriores, porque não usar uma instrução if em vez de um while:

```
while (cheio())
    wait()
```

?

```
if (cheio()
    wait()
```

```
while (vazio()
    wait()
```

```
if (vazio()
    wait()
```

Suponham-se 2 Produtores, P1 e P2, 2 Consumidores, C1,C2, e a sequência de execução:

1 - num dado instante o Buffer B está vazio

2 – C1 executa um get (B.get()) ----------C1 é suspenso

3 – C2 executa um get (B.get()) ----------C2 é suspenso

4 – P1 executa um put (B.put(i)) ----------última instrução é notifyAll()

5 - C1 é retirado do"wait set", escalonado para execução,

prossegue com o get, retira último elemento do Buffer,

executa o notifyAll()

6 - C2 é retirado do "wait set", escalonado para execução, retira o último ???? erro !!!

Caso de estudo:

3 – Implementação de uma classe Semáforo em Java

Definição de semáforo (Dijkstra, 1968):

É uma variável, s, que apenas pode assumir valores positivos ou nulos e à qual está associada uma fila de processos.

Após a inicialização da variável apenas são permitidas as operações atómicas:

wait (s) : Se (s>0) Então

s = s –1

Senão

- o processo que executa o wait é suspenso

signal (s) : Se (um processo foi suspenso por execução de um wait anterior) Então

- é restabelecido

Senão

s = s + 1

```
public class Semaforo {
  private int s;
  public Semaforo (int i){
      s = i;
 }
 public synchronized void semWait (){
    while (s <= 0 ) {
      try {
        wait();
      }
      catch (InterruptedException e)
      {...}
     }
    s = s –1;
  }

public synchronized void semSignal (){
   s = s + 1 ;
   notify();
```