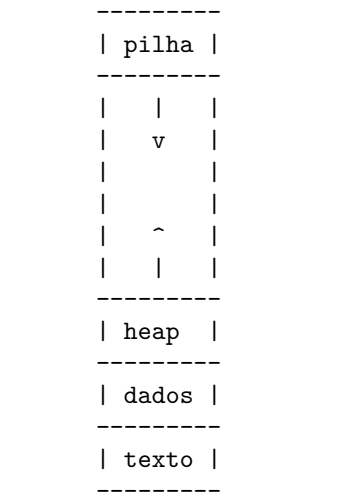
# Capítulo 03: Processos

## 3.1 Conceito de Processo

### 3.1.1 O Processo

- **Processo:** programa em execução.
- **Seção de texto**: código de um programa.
- Um processo inclui, além da seção de texto, o **contador do programa** e o conteúdo dos registradores do processador.
- Geralmente, um processo também inclui a **pilha** de processo, além de uma **seção de dados** (que contém os dados globais) e um **heap**.




- Um programa por si só não é um processo:
  - Trata-se de uma entidade *passiva* (um **executável**)
- Um processo é uma entidade *ativa*, com um *program counter* e um conjunto de recursos associados.
- **Um programa se torna um processo quando um arquivo executável é carregado na memória**.
- Um programa pode estar associado a vários processos.

### 3.1.2 Estado do Processo

- Possíveis estados de um processo (os nomes são arbitrários):
  - **Novo**: o processo está sendo criado.
  - **Em execução**: instruções estão sendo executadas.
  - **Em espera**: o processo está esperando que algum evento ocorra (operação e I/O, por exemplo)
  - **Pronto**: o processo está esperando ser atribuído a um processador.
  - **Concluído**: o processo terminou sua execução.
- Quando um processo está sendo executado, ele muda de **estado**.
- **Somente um processo pode estar sendo executado em um processador a cada instante; porém, muitos podem estar prontos e em espera**.
- Possível caminho de estados:
  - novo -> pronto -> em execução -> em espera -> pronto -> em execução -> concluído
  - as mudanças de estados acima poderia ter sido, por exemplo:
    - Criou-se um novo processo;
    - Assume estado pronto, esperando para ser executado;
    - Após ser executado, entra em estado de espera de I/O;
    - Após a operação de I/O, assume estado pronto;
    - Entra em execução e é encerrado.

### 3.1.3 Bloco de Controle de Processo

- Cada processo é representado no SO por um **bloco de controle de processo (PCB)**.
- Um PCB possui muitos trechos de informação associados a um processo específico, incluindo:
  - **Estado do processo**
  - **Contador do programa**: indica o endereço da próxima instrução
  - **Registradores da CPU**: junto com o contador do programa, as informçaões do estado devem ser salvas quando ocorrer uma interrupção.

  - **Informações da scheduling da CPU**: essas informações incluem a prioridade de um processo, ponteiros de filhas de scheduling, etc. [capítulo 5]
  - **Informações de gerenciamento da memória** [capítulo 8]
  - **Informações de contabilização**: incluem o período de tempo real e de CPU usados, os limites de tempo, números de jobs ou processos, etc.
  - **Informações de I/O**: incluem a lista de dispositivos de I/O alocados para o processo, uma lista de arquivos abertos, etc.
- Resumindo: **O PCB serve como repositório de qualquer informação que possa variar de um processo para outro.**

#### 3.1.4 Threads

- Até o momento, consideramos apenas processos com um thread.
- Atualmente, muitos sistemas operacionais permitem que um processo tenha vários threads em execução.
- Neste caso, o PCB é estendido e possui informações sobre cada thread.
- Outras alterações no sistema como um todo também são necessárias, discutidas no *Capítulo 4*.

### 3.2 Scheduling de Processos

- O objetivo da multiprogramação é alternar processos com frequência tão alta que dá a impressão ao usuário que diversos processos ocorrem simultanemante.
- Em um computador com uma única CPU, nunca haverá mais de um processo sendo executado ao mesmo tempo.
- O número de processos na memória é chamado de **grau de multiprogramação** (*degree of multiprogramming*).
- Um programa normalmente é caracterizado como **CPU-bound** ou **I/O-bound**:
  - **CPU-bound**: gera processos de I/O com baixa frequência
  - **I/O-bound**: gera processos que passam maior parte do tempo com operações I/O.
- Os processos no Linux são representados por uma lista duplamente encadeada. O Kernel possui um ponteiro `current` para o processo corrente.

#### 3.2.1 Filas de Scheduling

- Quando um processo entram em um sistema, são inseridos em uma **fila de jobs** (*jobs queue*), que contém todos os jobs do sistema.
- Se o processo está pronto, esperando para entrar em execução, é inserido na **fila de prontos** (*ready queue*), normalmente armazenada como uma fila encadeada.
- O cabeçalho de uma ready queue contém ponteiros para o primeiro e o último da PCBs da lista.
- **Fila de dispositivo**:
  - Trata-se de uma **fila de espera** (*wait queue*) de I/O de um dispositivo.
  - Cada dispositivo possui sua própria fila de dispositivo.
- **Diagrama de enfileiramento** (*queueing diagram*): Figura 01

#### 3.2.2 Schedulers

- Em um sistema *batch*, normalmente sã osubmetidos mais processos do que é possível executar imediatamente.
- **Scheduler de longo prazo** ou **scheduler de jobs**:
  - seleciona processos do spool no disco e os carrega na memória para execução
  - controla o **grau de multiprogramação** (*degree of multiprogramming*)
- **Scheduler de curto prazo** ou **scheduler da CPU**:
  - seleciona processos que estão prontos para execução e aloca a CPU para um deles
- Principal diferença é *frequência de execução*:
  - Scheduler de CPU precisa ser executado mais frequentemente que o scheduler de longo prazo.
  - Scheduler de curto prazo: execução em milissegundos.
  - Scheduler de longo prazo: execução pode ter diferença de minutos.
- A maioria dos processos podem ser caracterizados de duas formas:
  - **Limitados pelo I/O**: gasta mais tempo executando operações de I/O.
  - **Limitados pela CPU**: gasta mais tempo executando processamento.
- Sobre o scheduler de longo prazo:
  - É importante que faça um bom **mix de processos** compostos por limitados pelo I/O ou pela CPU.
  - Quando há muitos processos limitados pelo I/O, a lista de prontos fica vazia e o scheduler de curto prazo fica ocioso.
  - Caso contrário, o scheduler de longo prazo fica ocioso o sistema fica desbalanceado.

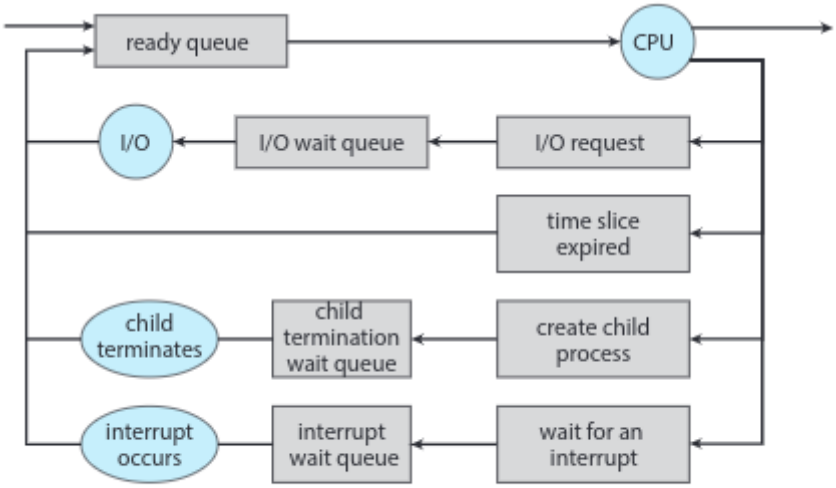



**Figure 3.5** Queueing-diagram representation of process scheduling.

Figure 1: queueing diagram

- **O sistema de melhor desempenho terá uma combinação de processos limitados pelo I/O e pela CPU.**
- Em alguns sistemas, o scheduler de longo prazo **pode estar ausente ou ter pouca presença**. Exemplo:
  - Sistemas de tempo compartilhado, como sistemas UNIX e Windows
- Alguns SOs, como os de **tempo compartilhado**, podem inserir um nível de scheduling intermediário, chamado de **scheduler de médio prazo**.
  - A ideia chave é que é que às vezes pode ser vantajoso remover processos da memória e assim reduzir o grau de multiprogramação.
  - Desta forma, o processo é posteriormente retomado onde parou (esquema chamado de **swapping**).
  - Normalmente, swapping só é necessário quando a memória foi sobrecarregada e precisa ser liberada (discutido no *Capítulo 8*).

### 3.2.3 Mudança de contexto

- Quando ocorre uma interrupção, o sistema precisa salver o **contexto corrente** do processo em execução na CPU.
- O contexto é representado no PCB do processo, incluindo o valor dos registradores da CPU, o estado do processo e informações do gerenciamento de memória:
  - é executado um **salvamento de estado** corrente da CPU e depois uma **restauração de estado** ao retomar as operações.
- **A tarefa de de alocação da CPU a outro processo é conhecida como mudança de contexto**:
  - Ela exige que o sistema salve o estado do processo corrente e restaure do estado de um processo diferente.
- Os intervalos de mudança de contexto são altamente dependentes do suporte de hardware.

## 3.3 Operações sobre Processos

### 3.3.1 Criação de Processos

- Um processo pode criar vários outros processos:
  - Processo **pai** cria processo **filho**.
  - Isso forma uma **árvore de processos**.
- A maioria dos SOs identificam os processos através de um **identificador de processos** (**pid**), normalmente um int.
- Um processo precisa de certos recursos (tempo de CPU, memória, dispositivos de I/O, etc).
- Quando um processo cria outro, este processo pode obter recursos diretamente do SO ou ficar restrito a um subconjunto dos recursos do pai.
- A restrição de um processo filho a um subconjunto dos recursosdo pai impede que algum processo sobrecarregue o sistema.
- Além dos recursos físicos e lógicos, um pai pode passar dados de inicialização (entradas) podem ser passados de pai para filho.
- Quando um processo cria outro, temos duas possibilidades em termos de execução:
  - O pai continua a ser executado concorrentemente com seus filhos.

  - O pai espera até algusn de sesu filhos ou todos eles serem encerrados.
- E há duas possibilidades quanto ao espaço de endereço do novo processo:
  - O processo filho é uma duplicata do processo pai (ele tem o mesmo programa e dados do pai)
  - O processo filho tem um novo programa carregado nele.
- *Checar livro para exemplos em um SO UNIX e em um Win32.*

#### 3.3.2 Encerramento de Processos

- Um processo é encerrado quando executa seu último comando e solicita ao SO que o exclua através da chaamda de sistema `exit()`.
- Nesse momento, o processo pode retornar um valor de *status* para o processo pai (através da chamada de sistema `wait()`.
- Todos os recursos do processo são desalocados pelo SO.
- Um processo também pode ser encerrado por outro processo (normalmente, apenas o processo pai pode fazer isso).
- Portanto, quando um processo cria um outro, a identidade do filho é passada ao pai.
- Um pai pode encerrar a execução de um de seus filhos por várias razões:
  - O filho excedeu o uso de alguns dos recursos que recebeu.
  - A tarefa atribuída ao filho não é mais necessária.
  - O pai está sendo encerrado e o SO não permite que um filho continue (**encerramento em cascata**).

### 3.4 Comunicação Interprocessos

- Processos executando concorrentemente podem ser tanto **indepententes** ou **cooperativos**:
  - **Independentes**: não compartilha dados com nenhum outro processo corrente.
  - **Cooperativos**: é afetado ou afeta outros processos sendo executados.
- Motivos para se ter processos cooperativos:
  - **Compartilhamento de informação**
  - **Acelerar processos**: para acelerar um processo, podemos dividí-lo em subtarefas (possível apenas em CPU multicore)
  - **Modularização**: dividir o sistema de maneira modular, dividindo o processo em diferentes subprocessos ou threads.
- Processos cooperativos demandam que haja **comunicação interprocessos (IPC: Interprocesses Comunication)**
- Há dois modelos fundamentais para isso: **shared-memory** ou **message-passing**.
- **Shared-Memory**:
  - uma região de memória comum é alocada para os processos, onde todos os processos que a compartilham podem interagir diretamente.
  - mais rápido que message-passing, pois utiliza uma chamada de função apenas uma vez para alocar a memória.
- **Message-Passing**:
  - uma fila de mensagens é utilizada, onde são colocadas mensagens trocadas entre os processos cooperativos.
  - melhor para lidar com menores quantidades de dados.
  - como é necessário realizar uma chamada de sistema para cada mensagem, é mais lento que a abordatem de memória compartilhada (*shared-memory*).
  - mais fácil de implementar em sistemas distribuídos.

### 3.5 IPC in Shared-Memory Systems [10th edition]

- Normalmente, a região de memória compartilhada está situada na região de memória do processo que criou o segmento.
- Um processo, caso queira usar uma região compartilhada de memória, deve se *attach* a esta região de memória.
- O SO costuma impedir que um processo acesse o espaço e memória alocado a outro. Para que a memória seja compartilhada, é necessário que os processos concordem em retirar esta restrição.
- A forma e a locação dos dados neste espaço compartilhado é responsabilidade dos processos envolvidos, e não faz parte do conhecimento do SO.
- Os próprios processos são responsáveis para garantir que não estão escrevendo ou lendo da região simultaneamente.
- Exemplo de uso: uma das soluções para **produtor-consumidor**:
  - O produtor enche um buffer de memória, que deve ser esvaziada pelo consumidor.
  - Eles devem estar sincronizados para que o consumidor não tente ler algo ainda não escrito.
  - O buffer pode ser **unbounded** (sem restrição de tamanho) ou **bounded** (com restrição de tamanho).
    - Caso seja **bounded**, o consumidor deve esperar caso o buffer esteja vazio e o produtor deve esperar caso esteja cheio.
- Mecanismos de sincronismo são discutidos nos capítulos 6 e 7.

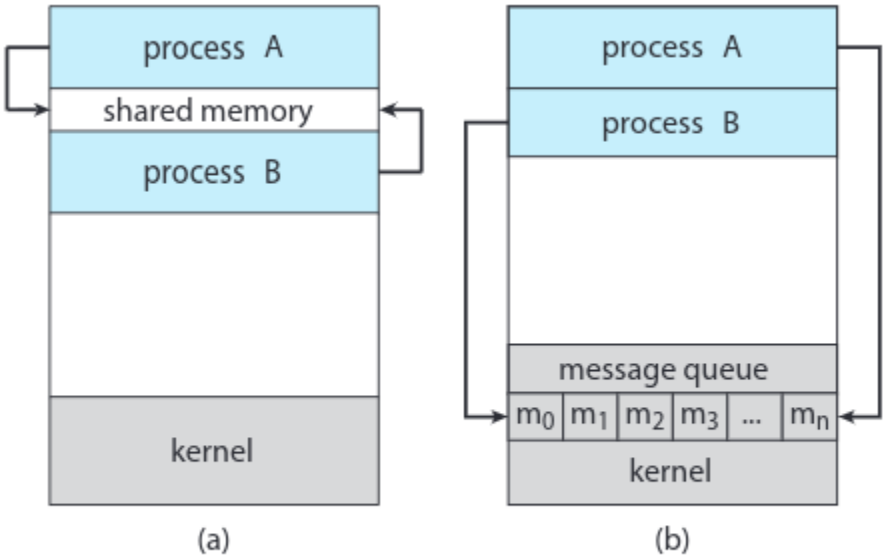



**Figure 3.11** Communications models. (a) Shared memory. (b) Message passing.

Figure 2: shared-memory vs message-passing

## 3.6 IPC in Message-Passing Systems [10th edition]

- Um *message-passing* sistema fornece pelo menos duas operações:
  - `send(message)`
  - `receive(message)`
- Mensagens enviadas por um processo podem ser de **tamanho fixo ou variável**:
  - Tamanho **fixo**:
    - implementação a nível de sistema é mais direta e fácil.
    - a tarefa de programação fica mais difícil.
  - Tamanho **variável**:
    - implementação a nível de sistema é mais complexa.
    - a tarefa de programação fica mais simples.
  - Esta diferença é um *tradeoff* comum no design de sistemas operacionais.
- Para um processo $P$ e um processo $Q$ se comunicarem, eles precisam estabelecer um **link de comunicação**.
- Este link pode ser implementado de diversas formas:
  - Comunicação **direta** ou **indireta**.
  - Comunicação **síncrona** ou **assíncrona**.
  - Buffering **automático** ou **explícito**.

### 3.6.1 Naming

# Capítulo 04: Threads

- A maioria dos sistemas operacionais atuais já fornece recursos que permitem que um processo contenha vários threads de controle.

## 4.1 Visão geral

- **Thread:**
  - Unidade básica de utilização de CPU
  - Composto por:
    - um ID de thread
    - um contador de programa
    - um conjunto de registradores
    - uma pilha
  - Compartilha com outros threads pertencentes ao mesmo processo:
    - sua seção de código
    - a seção de dados
    - outros recursos do SO, como arquivos abertos e sinais
- **Processo pesado:**
  - Um processo tradicional, com **um único thread de controle.

### 4.1.1 Motivação

- Normalmente, uma aplicação é implementada como um processo separado com vários threads de controle.
- Exemplos:
  - Navegador Web:
    - um thread para exibir imageons ou texto e outro para recuperar dados da rede.
  - Servidor Web:
    - um thread para requisição de dados de uma página
    - se não fosse assim, poderia atender a apenas um cliente pro vez.
- A maioria dos kernels dos SOs já são multithread.

### 4.1.2 Benefícios

- Os benefícios da programção com vários threads podem ser divididos em 4 categorias principais:
  - **Capacidade de resposta:** permite que um programa continue a ser executado mesmo se parte dele estiver executando uma tarefa demorada.
  - **Compartilhamento de recursos:** por default, os threads compartilham a memória e os recursos do processo ao qual pertencem.
  - **Economia:** alocação de memória e recursos para processos é dispendiosa; é mais econômico criar threads e variar apenas o contexto.
  - **Escalabilidade:** os benefícios do uso de vários threads podem ser muito maiores em uma arquitetura com mútios processadores.

### 4.1.3 Programação Multicore

- Programação com threads fornece um mecanismo para o uso mais eficiente de muitos núcleos de processador e o aumento da concorrência.
- Em um sistema com vários núcleos, vários threads podem ser executados paralelamente.
- 5 áreas apresentam desafios na programação para sistemas multicore:
  - **Divisão de atividades:** análise das aplicações em busca de áreas qeu possam ser divididas em tarefas concorrentes.
  - **Equilíbrio:** as tarefas devem ser executadas com esforço de mesmo valor (se uma tarefa não contribui muito para o processo, reservar um núcleo só pra ela não vale a pena).
  - **Divisão de dados:** os dados acessados e manipulados pelas tarefas devem ser divididos em núcleos separados.
  - **Dependência de dados:** deve ser analisada a depêndencia entre diferentes tarefas para garantir a sincronização.
  - **Teste e depuração.**
- De maneira geral, há **dois tipos de paralelismo**:
  - **Paralelismo de dados**: foca em distribuir os subsets dos mesmos dados através múltiplos núcleos e em realizar a mesma operação em cada núcleo.
  - **Paralelismo de tarefas**: se trata de distribuir tarefas (*threads*) através de múltiplos núcleos.
  - Não se tratam de conceitos mutuamente exclusivos, podendo haver aplicações híbridas em alguns sistemas.

## 4.2 Modelos de Geração de Multithread

- Threads podem ser:
  - **Threads de usuário:** suportados acima do kernel e gerenciados sem o suporte deste.
  - **Threads de kernel:** suportados e gerenciados diretamente pelo SO.
- Há algumas maneiras de se estabelecer um relacionamento entre threads de kernel e de usuário.

### 4.2.1 Modelo Muitos-para-Um

- **Mapeia muitos threads de usuário para um thread de kernel.**
- O gerenciamento dos threads é feito pela biblioteca de threads no espaço do usuário.
  - **Desvantagem:** Isso faz com que o processo inteiro seja bloqueado se um thread fizer uma chamada de sistema bloqueadora, o que **diminui a concorrência**.
- Como só um thread pode acessar o kernel de cada vez, muitos threads ficarão sem ser executados.

### 4.2.2 Modelo Um-para-Um

- **Mapeia cada um dos threads de usuário para um thread de kernel.**
- Fornece mais concorrência do que o modelo muitos-para-um, pois permite que outro thread seja executado quando algum deles faz uma chamada bloqueadora.
- **Desvantagem:** a criação de um thread de usuário requer a criação de um thread de kernel correspondente.
- A maioria das implementaões restringe a quantidade de threads suportados pelo sistema.
- Linux e Windows implementam modelo um-para-um.

### 4.2.3 Modelo Muitos-para-Muitos

- **Mapeia muitos threads de usuário para uma quantidade menor ou igual de threads de kernel.**
- Não sofre com as desvantagens dos métodos acima:
  - Pode-se criar quantos threads de usuário forem necessários e os threads de kernel correspondentes podem ser executados em paralelo em um ambiente multiprocessador.
- **Modelo de dois níveis:**
  - Uma variação popular.
  - Conecta muitos threads de usuário em uma quantidade menor ou igual de threads de kernel, mas também permite que um thread de usuário seja limitado a um thread de kernel.

## 4.3 Bibliotecas de Threads

- Uma **biblioteca de threads** fornece ao programador uma API para a criação e gerenciamento de threads.
- Há duas formas principais de se implementar uma biblioteca de threads:
  - Fornecer uma biblioteca inteiramente no espaço de usuário sem suporte do kernel.
  - Fornecer uma biblioteca a nível de kernel com suporte direto do SO.
- No primeiro caso, todo o código e as estruturas de dados da biblioteca existem no espaço de usuário e não possuem chamada de sistema.
- No segundo, as estruturas de dados da biblioteca existem no espaço de kernel e as chamadas da API resultam em uma chamada de sistema.
- Três bibliotecas de threads são mais usadas atualmente, detalhadas a seguir.

### 4.3.1 Pthreads

- Trata-se do padrão POSIX que define uma API para a criação e sincronização de threads.
- É uma *especificação* para o comportamento de threads, não uma implementação.
- Vários sistemas implementão a especificação Pthreads, dentre eles: sitemas UNIX, MacOS, Linux, etc.
- *[Especificações com exemplo do uso do Pthreads no livro]*

### 4.3.2 Threads Win32

- Trata-se de uma biblioteca de nível de kernel disponível em sistemas Windows.
- *[Especificações com exemplo do uso de Threads Win32 no livro]*

### 4.3.3 Threads Java

- Trata-se do modelo básico de execução de programas Java.

- Todos os programas Java são compostos por pelo menos um thread de controle.
- Como na maioria dos casos a JVM é executada acima de um SO, geralmente a API de threads do Java utiliza uma biblioteca de threads do SO hospedeiro.
- *[Especificações com exemplo do uso de Threads Java no livro]*

## 4.5 Exemplos de Sistemas Operacionais

### 4.5.1 Threads no Windows

- Cada processo Windows tem um ou mais threads.
- Os sistemas Windows usa o mapeamento um-para-um.
- Os componentes gerais de uma thread:
  - Um ID de thread
  - Um registrador representando o status do processador
  - Um contador de programa
  - Uma pilha de usuário, usada quando a thread está rodando no modo usuário, e uma pilha kernel, quando está rodando no modo kernel.
  - Uma área de armazenamento privado, usada por várias run-time libraries e dynamic link libraries (DLLs).
- O set de registradores, as pilhas e o armazenamento privado são conhecidos como **contexto do thread**.
- Os tipos primários de dados do thread incluem:
  - ETHREAD (Executive Thread Block)
  - KTHREAD (Kernel Thread Block)
  - TEB (Thread Enviornment Block)
- Tanto o ETHREAD quanto o KTRHEAD existem no espaço de kernel.
- **ETHREAD:**
  - A chave do ETHREAD inclui um ponteiro para o processo para o qual o thread pertence e o endereço da rotina na qual a thread começa (?)
  - O ETHREAD também contém um ponteiro para o KTHREAD correspondente.
- **KTHREAD:**
  - Inclui uma informações de scheduling e sincronização do thread.
  - Além disso, o KTHREAD contém a pilha do kernel e um ponteiro para o TEB.
- **TEB:**
  - Trata-se de uma estrutura de dados no espaço do usuário que é acessada quando o thread está rodando no modo usuário.
  - Contém o identificador do thread, uma pilha do modo-usuário e um array para o armazenamento de thread-local.

### 4.5.2 Threads no Linux

- O Linux não faz distinção entre threads e processos:
  - Usa o termo **task** para ambos.
- Possui as chamadas de sistema `fork()` e `clone()`.
- Quando se usa `clone()`, é passado um set de flags que determinam o quanto de espaço deve ser compartilhado entre o pai e o filho.
- O nível variável de espaço ocupado é possível devido à forma com que o kernel do Linux representa as tasks.
  - Uma estrutura de dados do kernel(`struct task_struct`) existe para cada task no sistema e contém ponteiros para outras estruturas onde os dados estão armazenados.

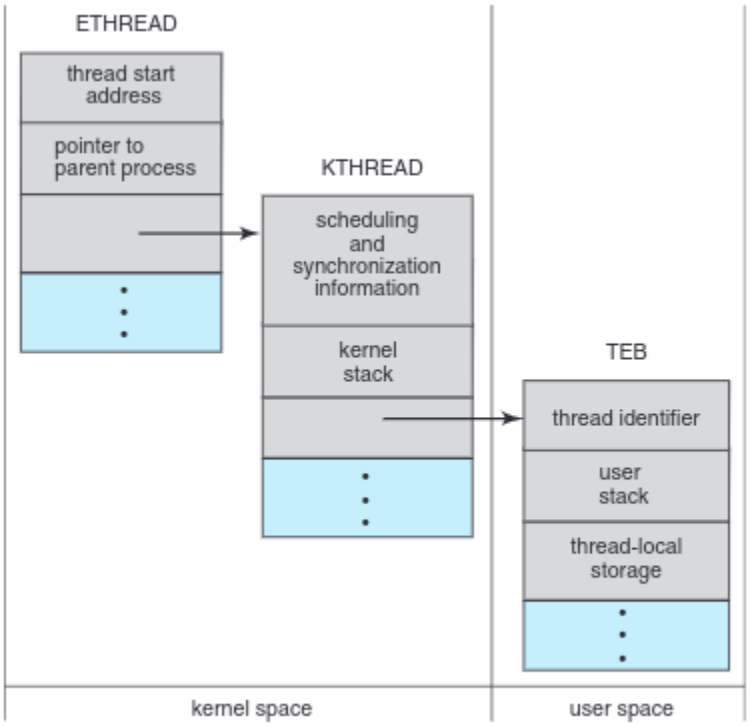



**Figure 4.21** Data structures of a Windows thread.

Figure 3: Data structures of a Windows Thread