Redes de Computadores

Protocolos de Janela Deslizante

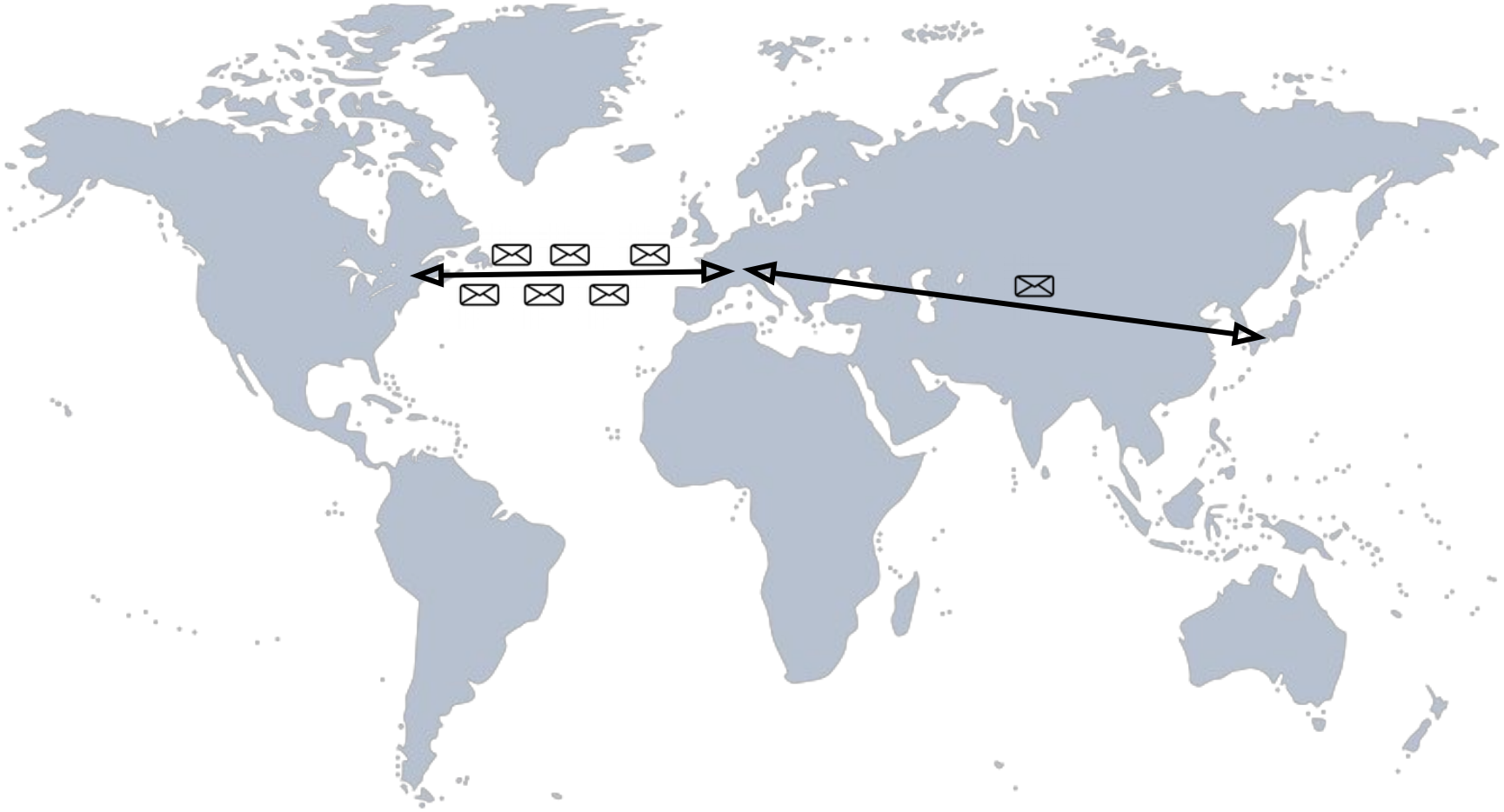
Objectivos da lição

- Para a transmissão fiável de dados uma solução simples consiste em usar um protocolo que só transmite um pacote de cada vez e só passa ao seguinte depois de receber um ACK
- Esses protocolos têm pouco rendimento
- É possível melhorá-los usando uma técnica chamada janela deslizante *(sliding window)* ou *pipelining*

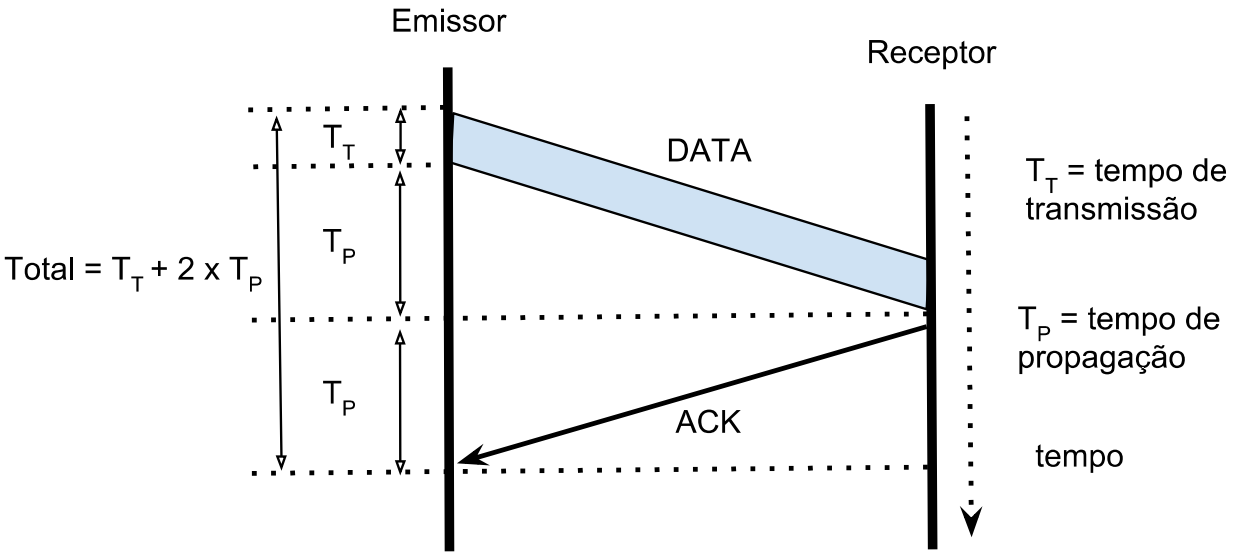
Todas as coisas são difíceis antes de se tornarem fáceis

Thomas Fuller

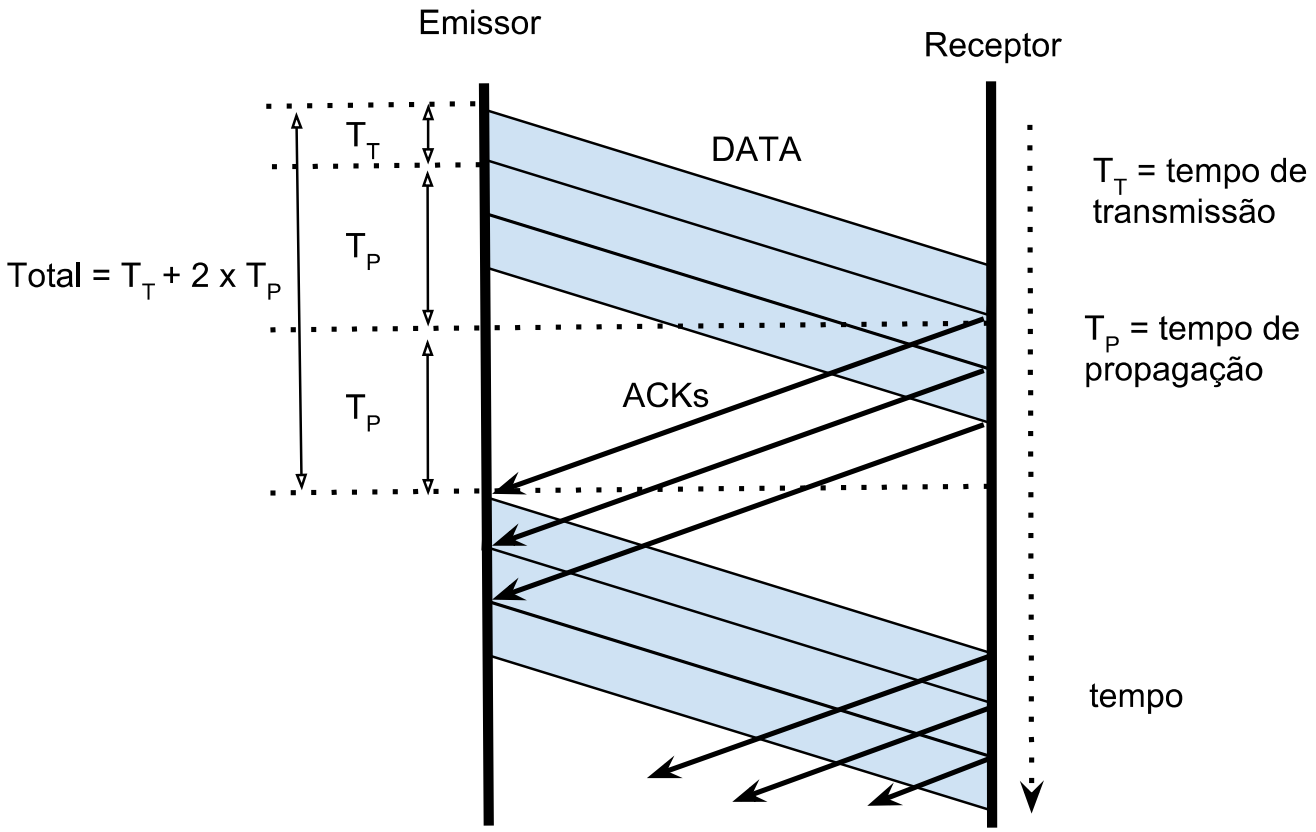
O Problema



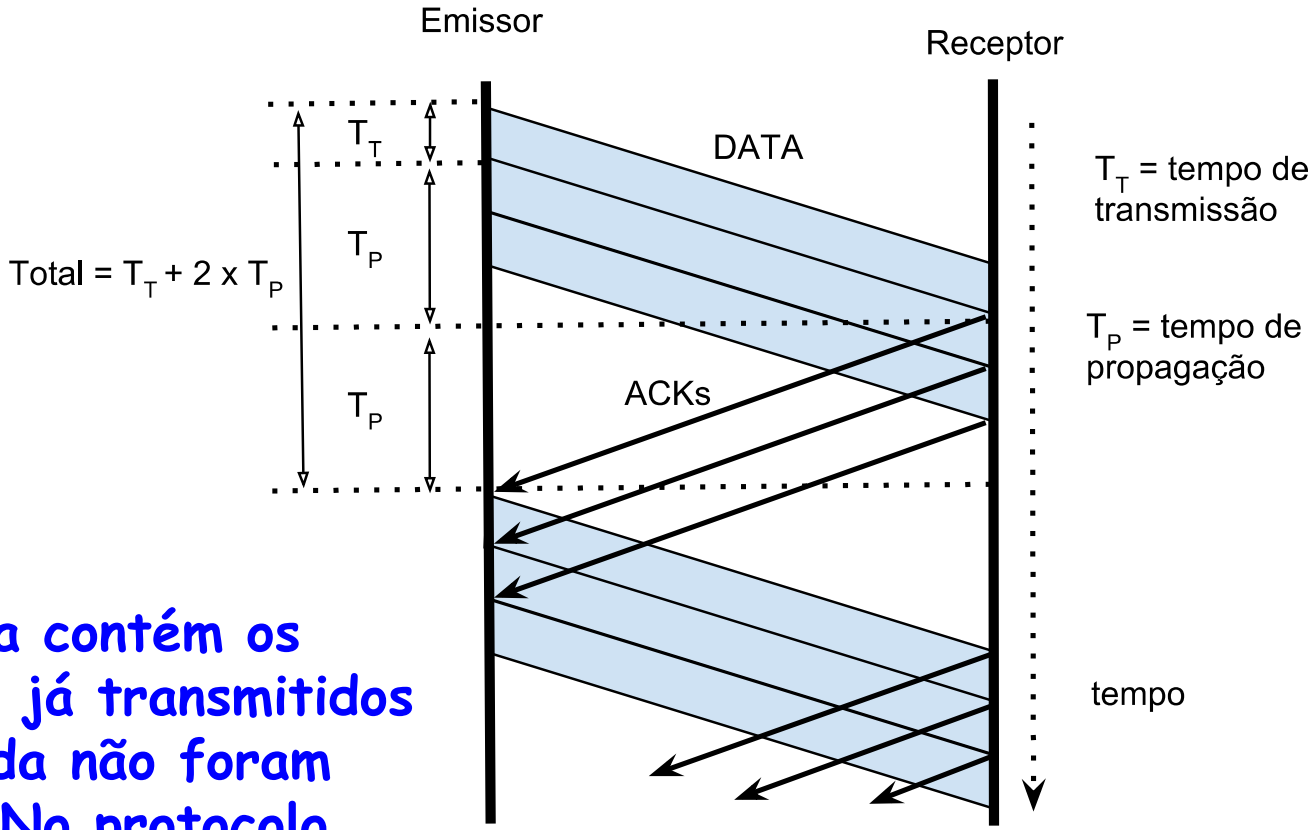
Desempenho do Protocolo S&W



Solução: Transmitir "Adiantado"

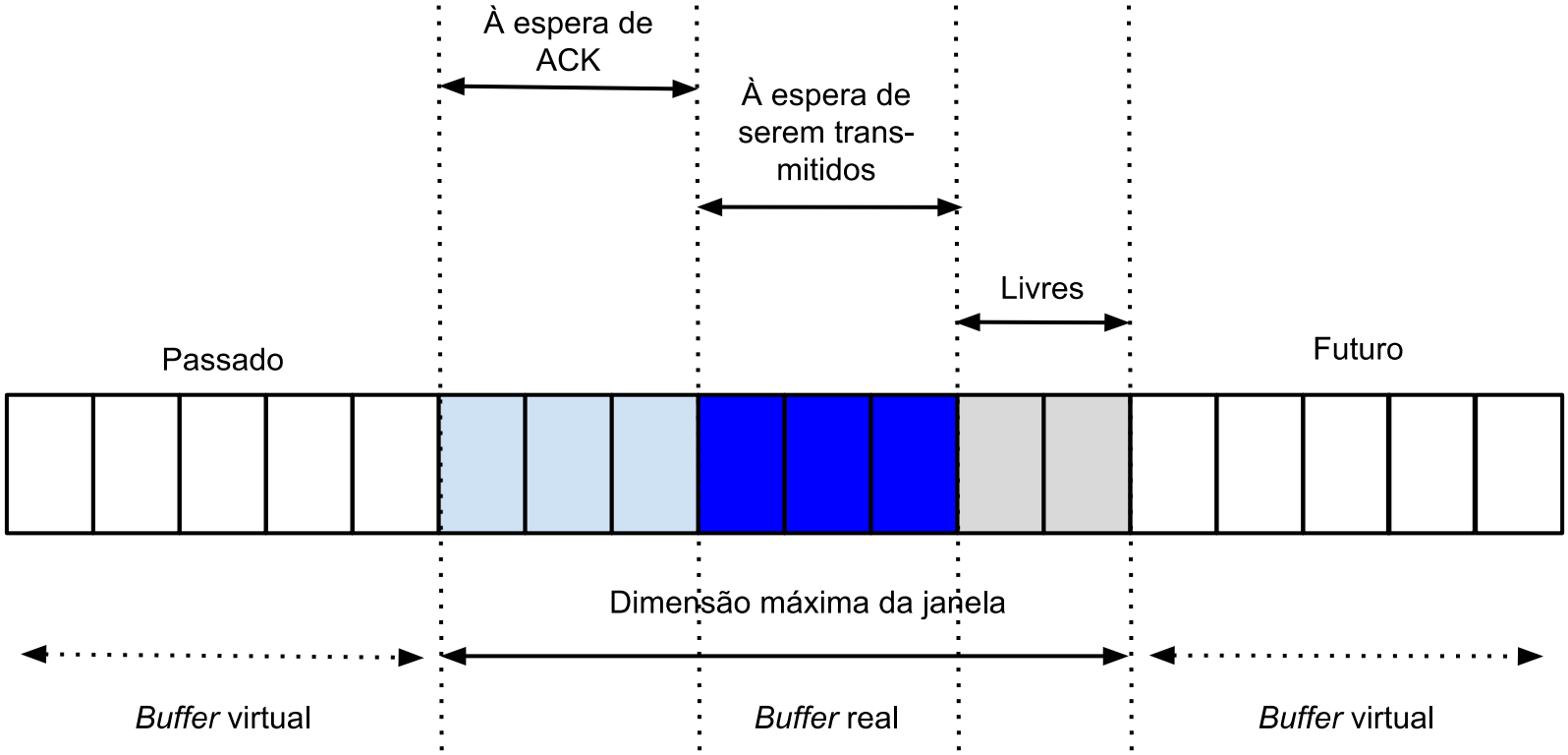


Janela Deslizante



A janela contém os pacotes já transmitidos que ainda não foram ACK'd. No protocolo stop & wait a janela é igual a 1

Funcionamento da Janela



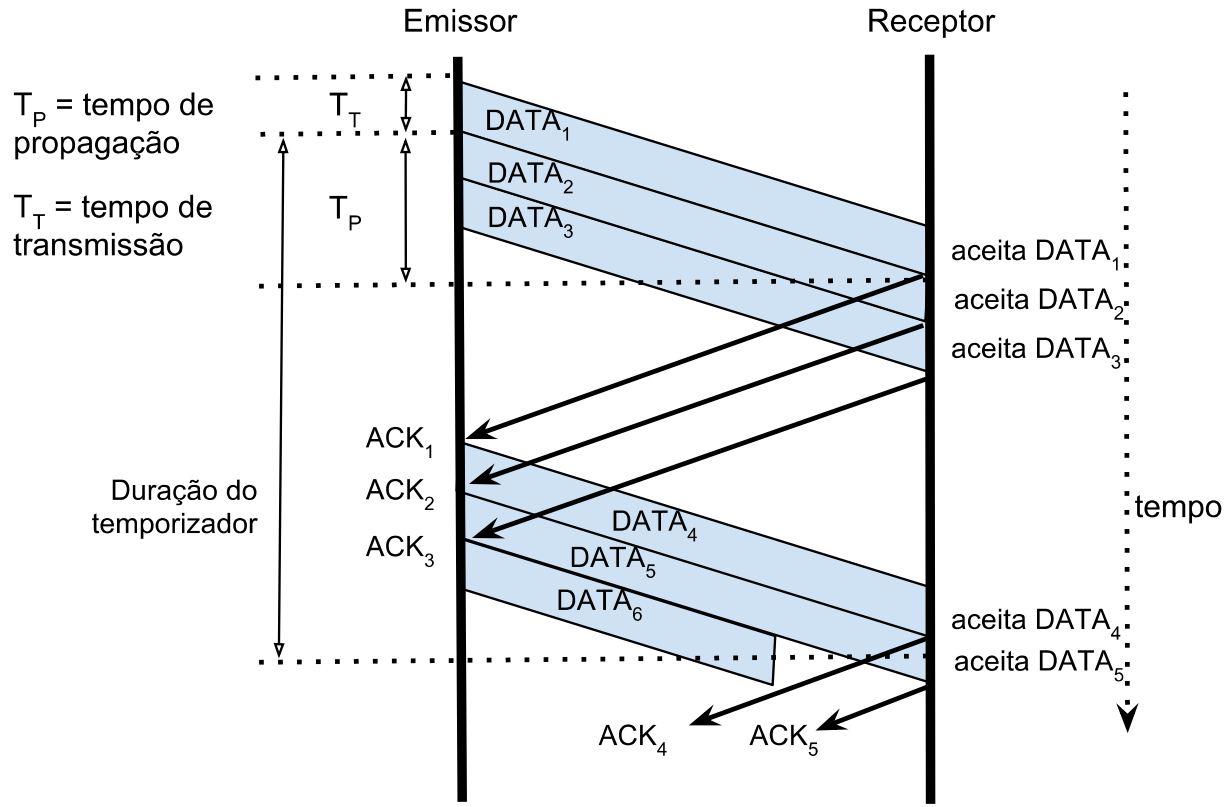
Funcionamento da Janela

- O emissor tem um *buffer* (a janela) onde estão os pacotes já transmitidas e que ainda não foram *ACK'ed,* assim como os pacotes que estão à espera de serem transmitidas mas ainda não houve tempo

- Quando chegam ACKs, a janela desliza para a direita e os pacotes já *ACK'd* podem ser esquecidos pois já se tem a certeza que foram bem recebidos

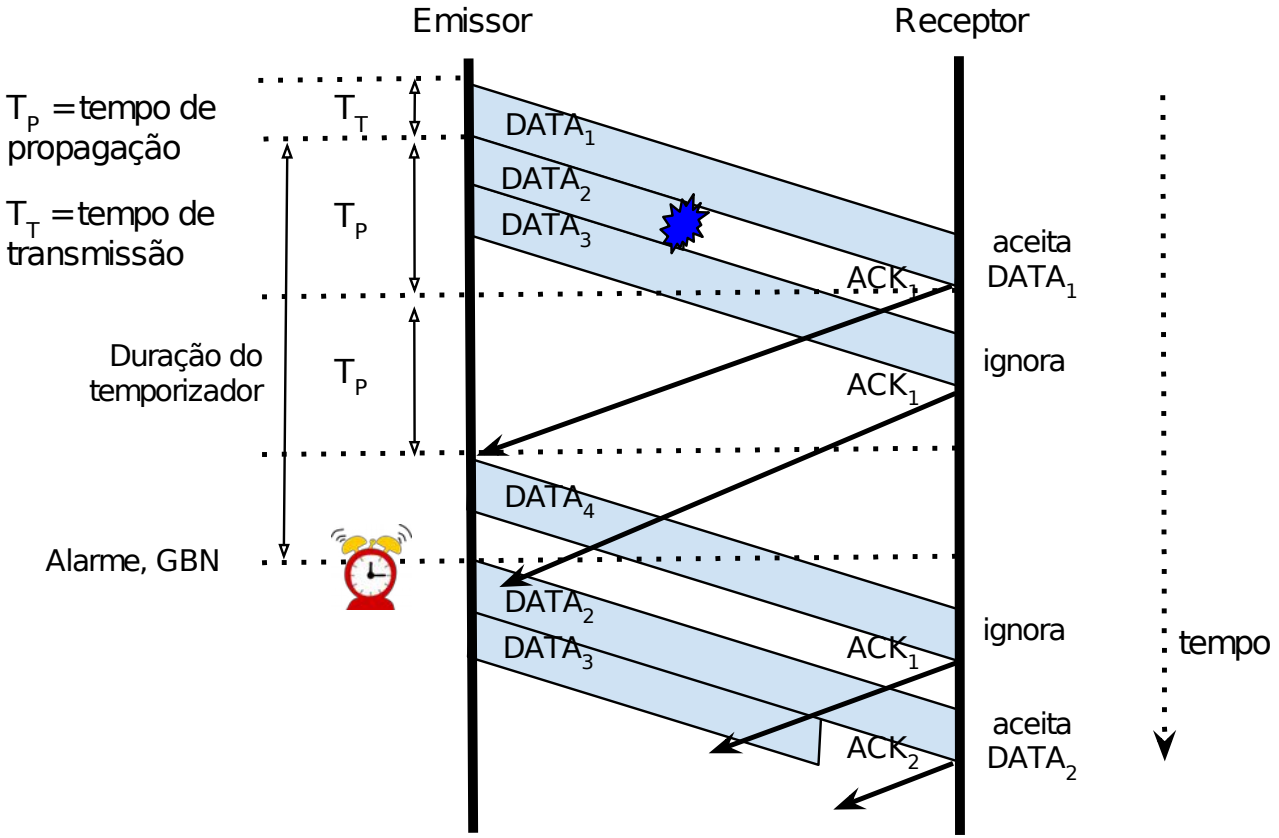
- A dimensão da janela é limitada pelas seguintes razões: controlo de fluxo, eventual desperdício em caso de perda e controlo da saturação da rede (ver a seguir)

Recetor com Janela para um Pacote



Uma janela para um pacote no recetor é suficiente caso a aplicação consuma muito rapidamente os pacotes chegados

Mas se Há Erros



não há espaço no recetor para os pacotes fora de ordem, pelo que o emissor tem de voltar atrás!

Go-Back-N (GBN)

- Como o recetor não guarda os pacotes fora de ordem, em caso de anomalia o emissor não recebe o ACK adequado, e só lhe resta recomeçar a emissão por ordem de todos os pacotes a partir do pacote cujo ACK faltou, ou seja, o mais à esquerda da janela.

- Existe sempre um alarme associado ao pacote emitido mais antigo, que terá de ser atualizado sempre que este pacote é ACK'ed

- Existem outras formas de detetar antes do disparo do alarme que um pacote se perdeu (ver a seguir)

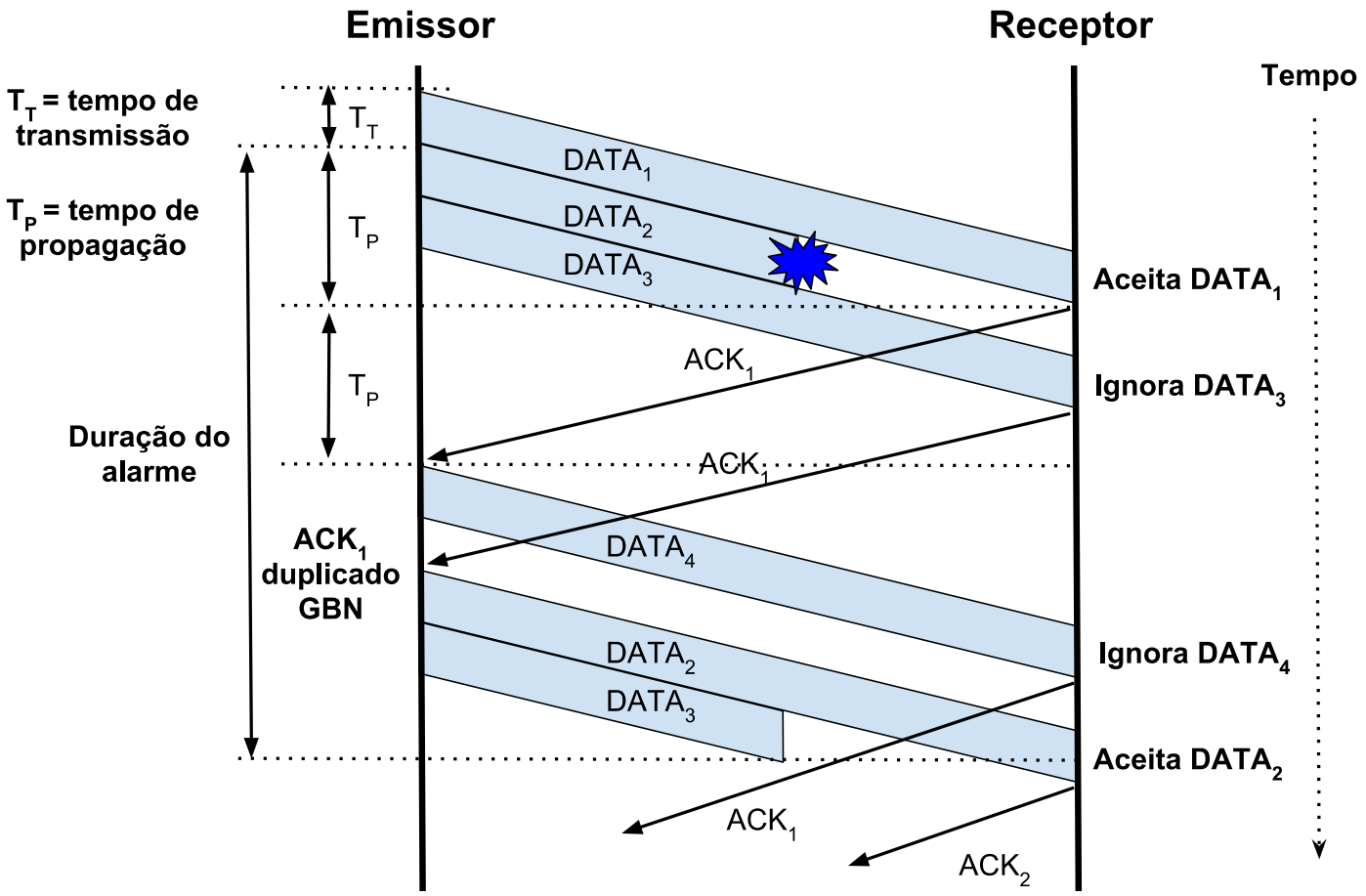
GBN e Recuperação

- Quanto mais cedo o emissor detetar que se perdeu um pacote melhor, pois isso evita continuar a emitir pacotes que vão ser deitados fora

- Existem pelo menos duas formas de o emissor detetar que um pacote se perdeu mesmo que o alarme ainda não tenha disparado

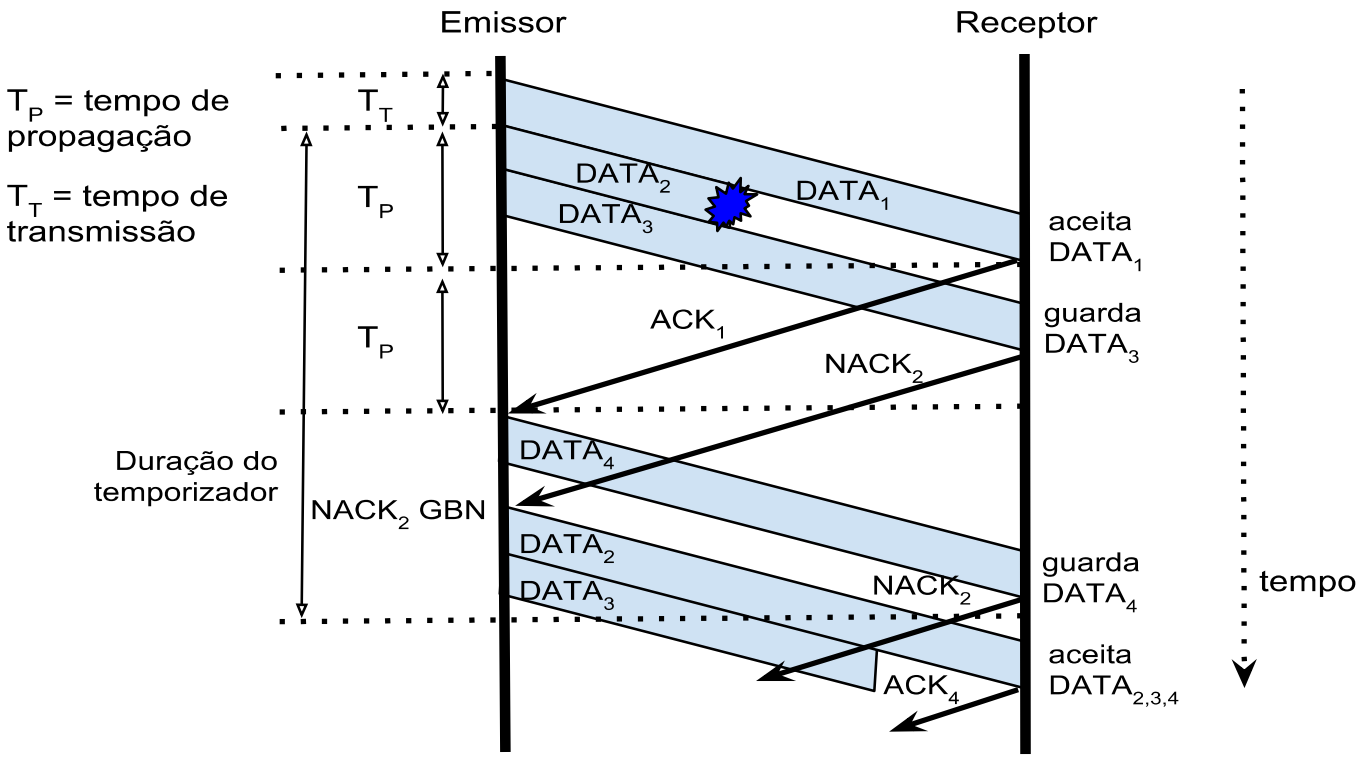
  - Interpretar os ACKs duplicados como sinal de que um pacote se perdeu
  - O recetor emitir uma indicação explícita (um NACK) de que um pacote se perdeu

GBN Com Recuperação Mais Rápida



Um ACK cumulativo repetido pode ser interpretado como um sinal de que um pacote se perdeu e serve para entrar em GBN mais cedo

Janela do Recetor Maior Que Um Pacote

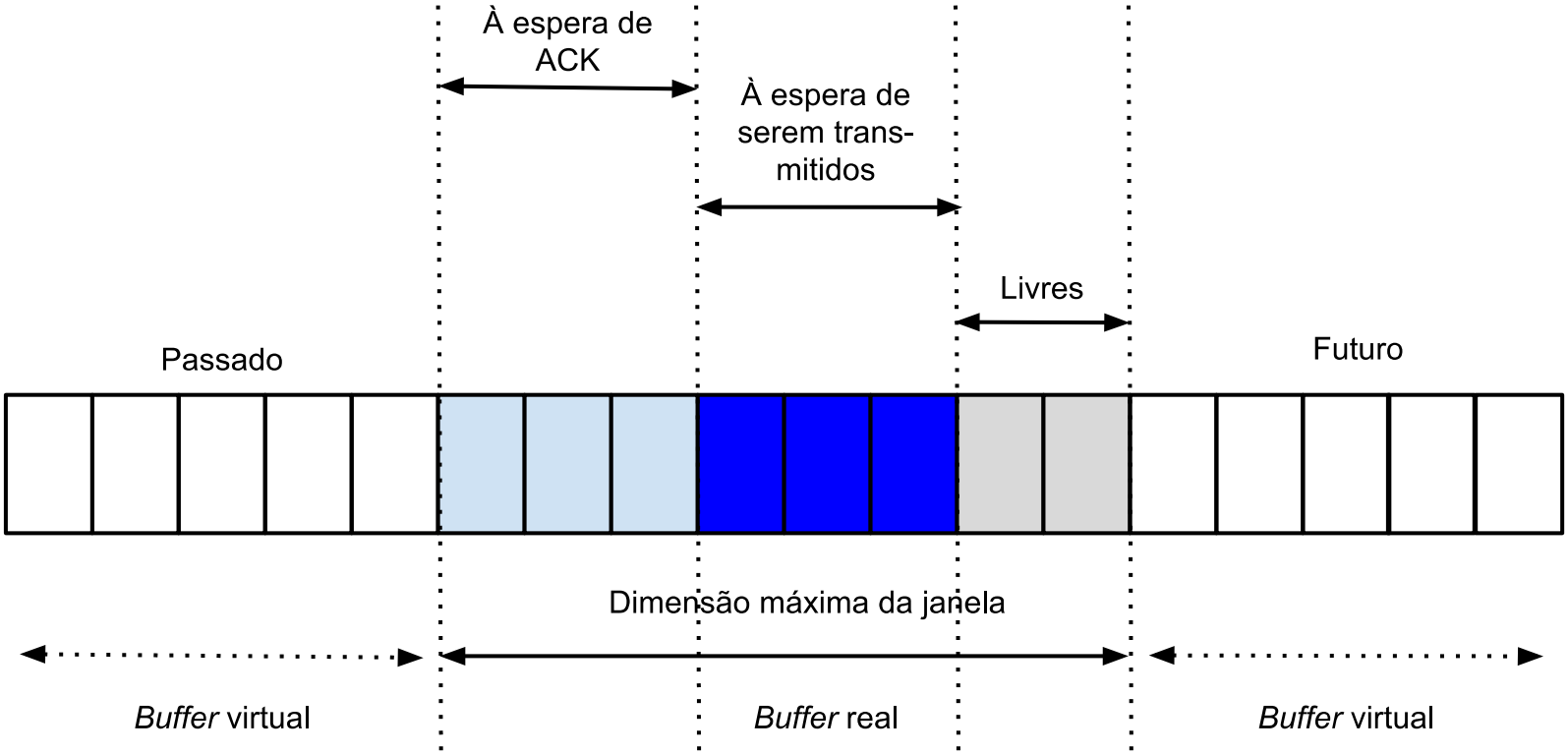


Uma janela do recetor maior que 1 também ajuda

Ações Executadas pelo GBN

- Por cada mensagem n recebida, o recetor
  - Guarda o pacote se este estiver na ordem
  - Se estiver fora de ordem, mas tiver a janela de receção > 1 tenta guardá-lo também
  - Em qualquer caso envia um ACK cumulativo de tudo o que recebeu até aí na ordem, e opcionalmente pode enviar (também) um NACK
  -
- O emissor arma um alarme (*timeout*) associado ao pacote mais antigo enviado
- Sempre que o *timeout* dispara no emissor, ou este recebe um NACK, volta atrás e recomeça a enviar os pacotes na janela
- Quando o emissor recebe um ACK "útil", isto é, à esquerda da janela, faz avançar a janela e reajusta o valor do alarme

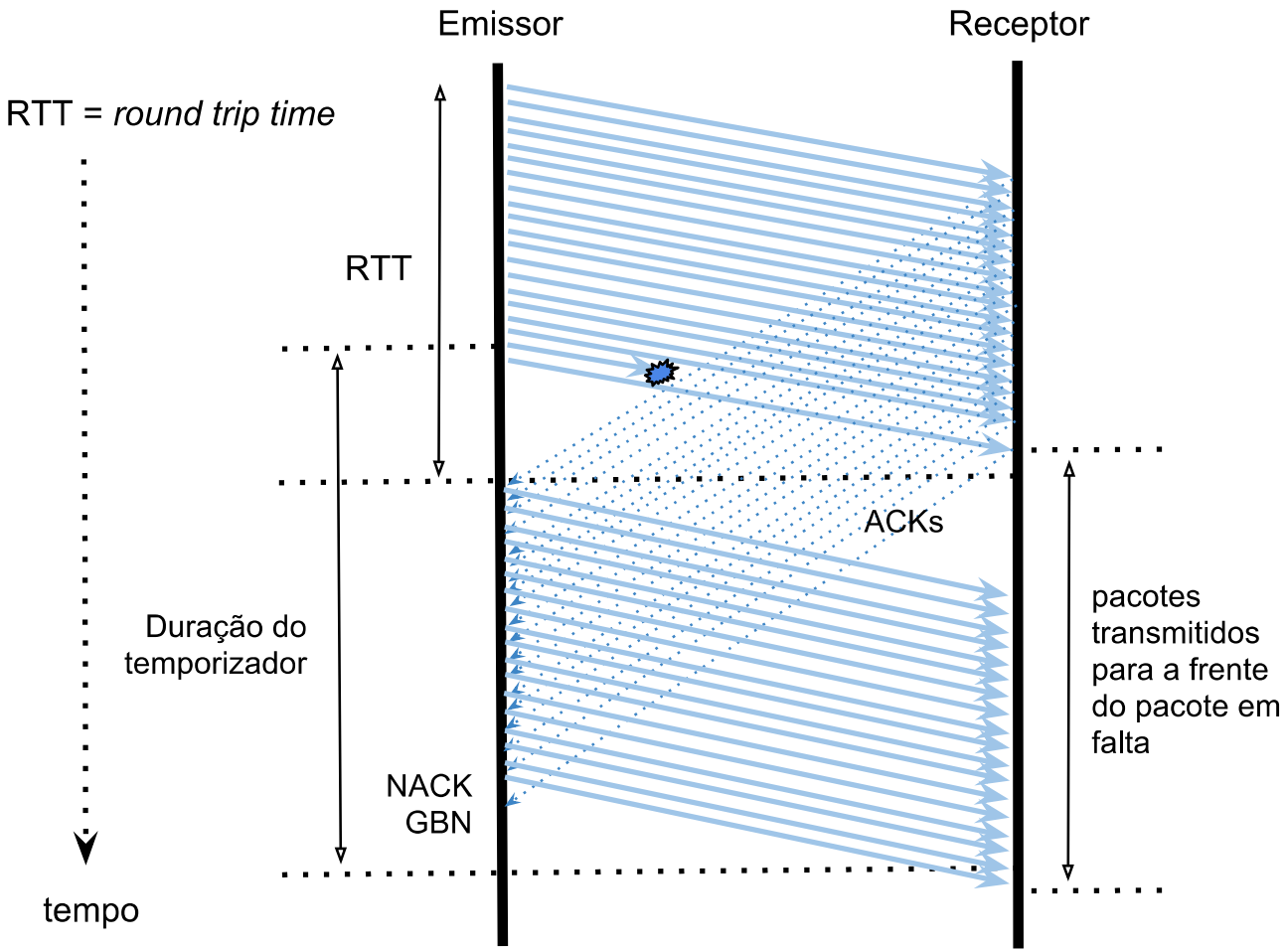
Janela do Emissor



Podemos Melhorar?

- Quando o RTT é muito baixo, ou o valor do Tt / RTT se aproxima de 1, uma janela de emissão relativamente pequena é suficiente para manter o emissor quase sempre a emitir
- Se houverem erros de transmissão (admitamos que não são frequentes) o funcionamento GBN introduz atrasos e eventualmente emissões em duplicado. A penalização, se existir, é proporcional ao tamanho da janela
- Se o valor de Tt é muito pequeno (canal de alta capacidade) e o RTT é muito grande (canal muito extenso), a janela do emissor tem de ser muito grande e o funcionamento GBN é muito penalizante se houverem erros, mesmo que espaçados

Custo da Recuperação com GBN



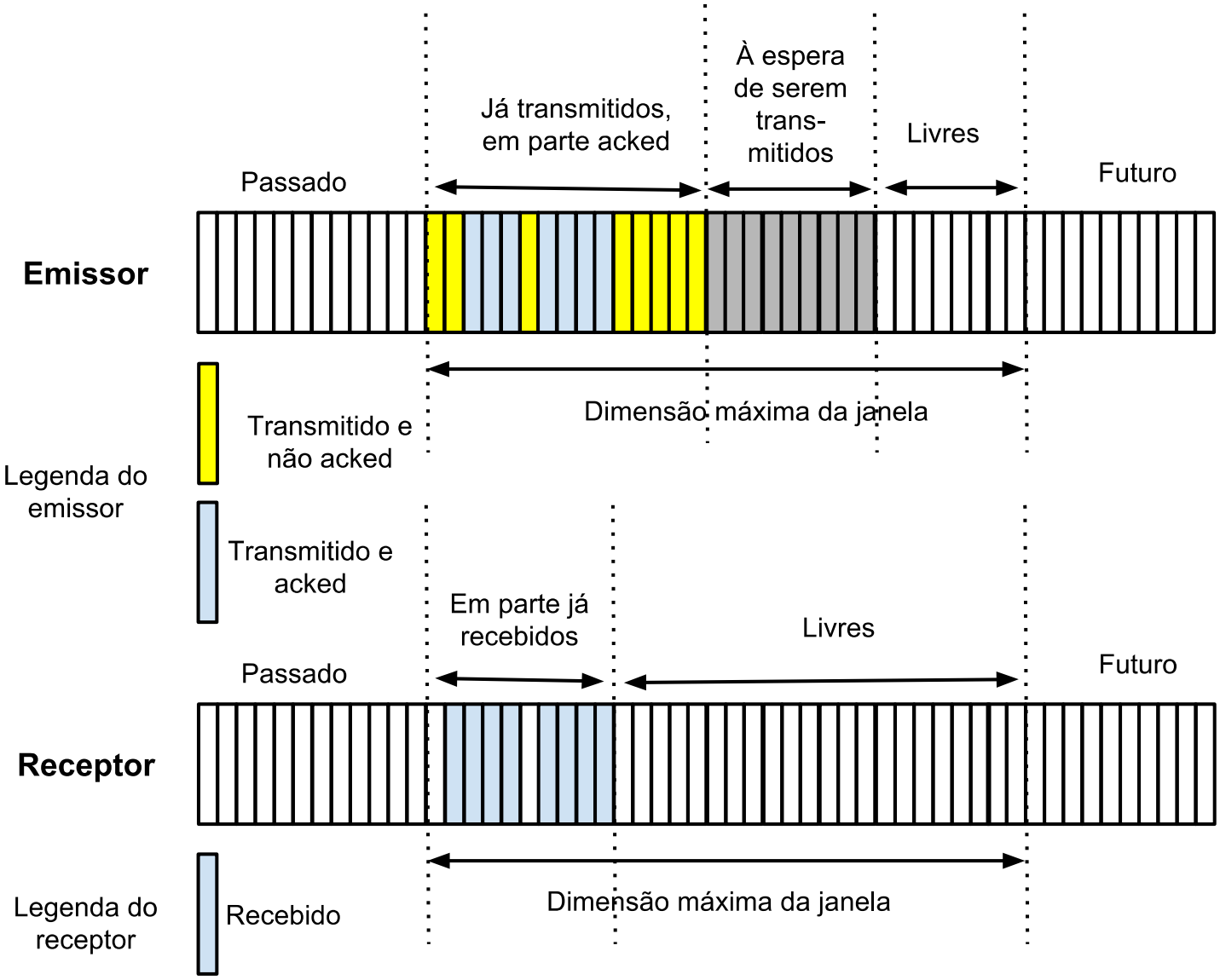
Repetição Seletiva (RS)

- É possível melhorar o algoritmo introduzindo ACKs independentes para cada pacote enviado e recebido
- Significa isso que só são retransmitidos os pacotes para os quais o emissor recebeu um NACK ou um alarme disparou
- Nesses casos, o pacote perdido é retransmitido, mas não se executa o procedimento GBN. O emissor continua sempre a enviar novas mensagens enquanto o tamanho da janela o permitir
- Esta versão do protocolo designa-se por ***selective repeat*** **(SR) ou repetição seletiva (RS)**

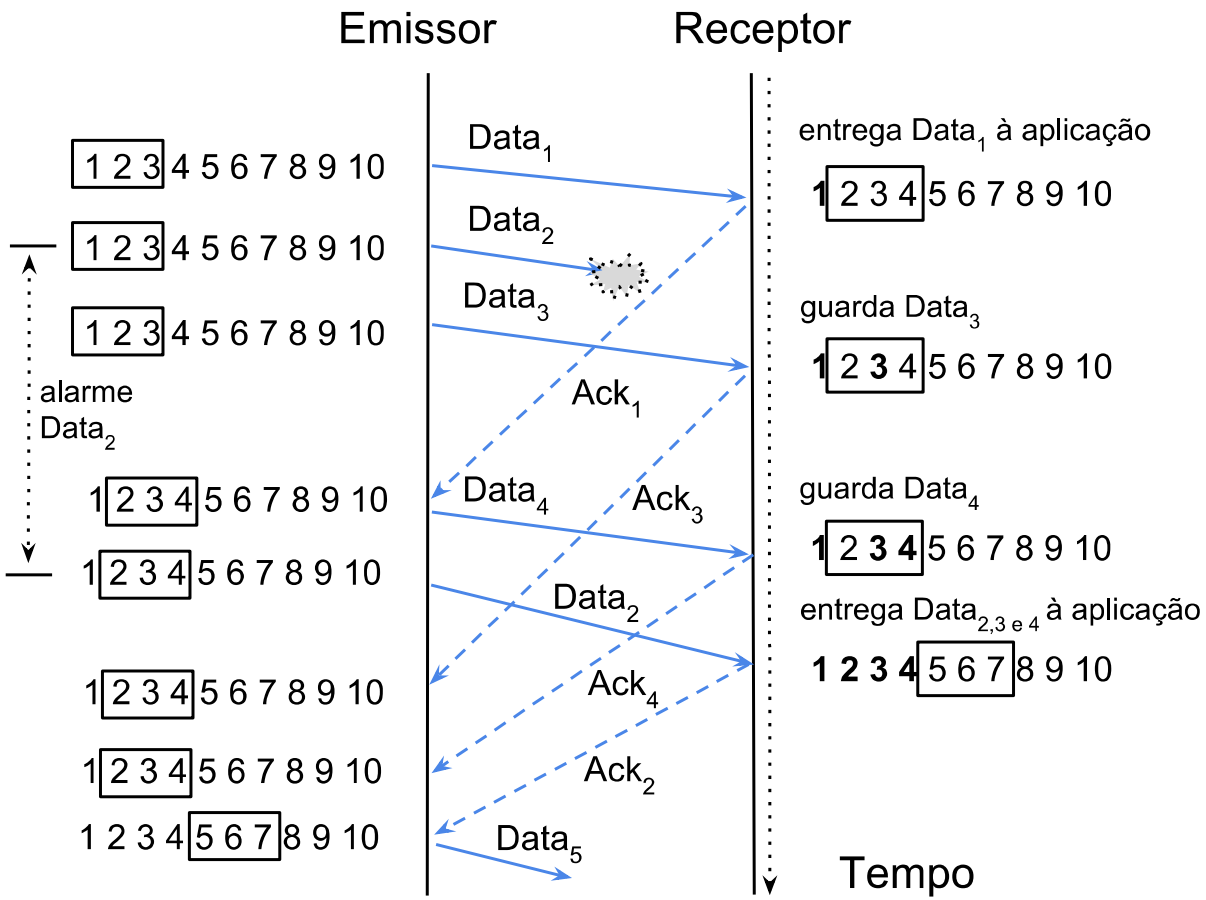
Funcionamento do Protocolo RS

- Por cada pcote n recebido, o receptor envia o respectivo ACK(n) (pode também enviar um NACK do mais antigo pacote que lhe falta se tem um buraco)
- Por cada pacote n enviado, o emissor arma um *timeout T(n)*
- Sempre que um *timeout* T(n) dispara no emissor (ou este recebe um NACK(n)) o pacote n é reenviado
- O emissor continua limitado pela dimensão máxima da sua janela

Janelas no SR



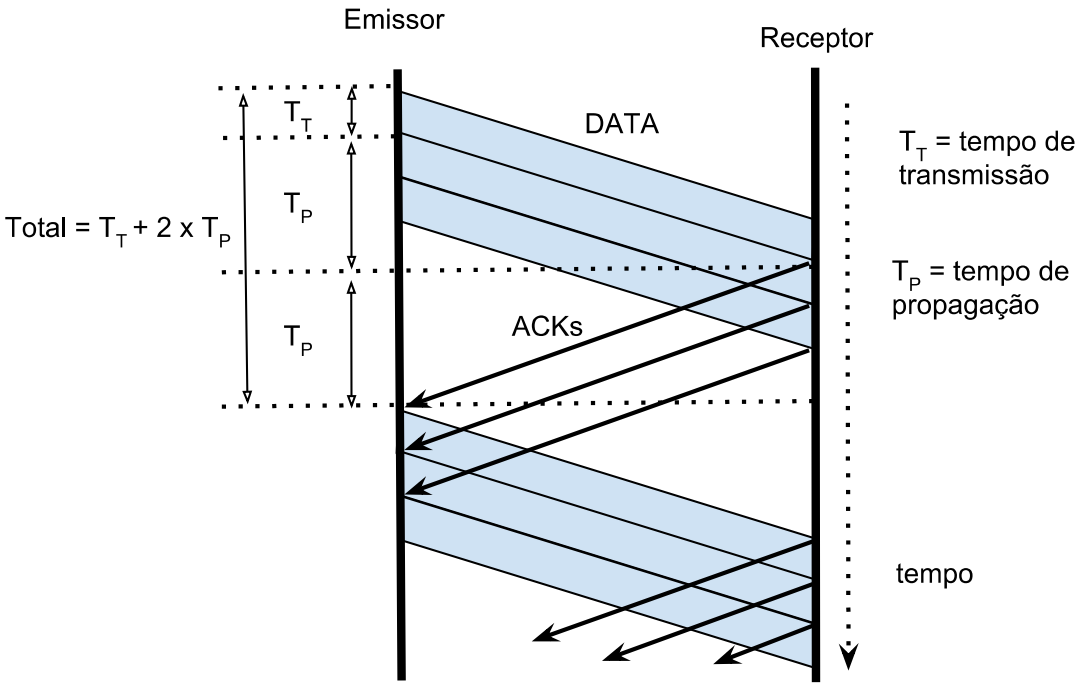
Exemplo


Emissor
Receptor
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
alarme
Data2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Data1
Data2
Data3
Ack1
Data4
Ack3
Data2
Ack4
Ack2
Data5
entrega Data1 à aplicação
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
guarda Data3
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
guarda Data4
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
entrega Data2,3 e 4 à aplicação
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Tempo

Nomenclatura

- Janelas (emissor, receptor)
- (1,1) — ***stop & wait***
- (N,*) — janela deslizante ou ***pipelining***
- (N,1) — janela deslizante com ***Go-Back-N (GBN)***
- (N,M) — com ACKs apenas do que foi bem recebido de forma contígua (ACKs acumulativos) continua a ser GBN mas com recuperação mais rápida
- (N,M) — com ACKs do que foi bem recebido mesmo que de forma não contígua (ACKs selectivos) — ***selective repeat***

Desempenho Sem Erros



Débito útil médio extremo a extremo do protocolo

≈ Dimensão "útil" da janela em bits / (T_T + RTT)

≈ N x Débito do protocolo Stop & Wait

Canais com Débito Muito Elevado

- Quando os canais têm débito muito elevado, o tempo de transmissão diminui drasticamente. Por exemplo, se um canal tem a capacidade de 1 Gbps, transmitir 10.000 bits leva 10^{-5} segundos, isto é, 10 micro segundos
- Se o RTT for de alguns milissegundos e o T_T desprezável, o débito útil médio extremo a extremo permitido pelo protocolo tende para:

Débito útil médio extremo a extremo do protocolo

= Dimensão da janela "útil" em bits / RTT

- O débito útil extremo a extremo diz-se *goodput* em inglês

Dimensão da Janela do Emissor

- Não vale a pena ser muito maior do que o que se consegue emitir continuamente durante um RTT
- Depende também da versão do protocolo pois janelas enormes com GBN incrementam o desperdício potencial a quando da recuperação dos erros (são estes frequentes?)
- Uma janela muito grande também pode potencialmente afogar um receptor lento (controlo de fluxo) ou saturar a rede (controlo da saturação)
- Por isso TCP usa uma janela de dimensão variável

Dimensão da Janela do Recetor

- Teoricamente não vale a pena ser maior do que a do emissor
- No caso geral, implica gerir bocados em falta antes de os entregar à aplicação, o que é mais complicado
- Por isso a solução GBN e janela do recetor = 1 não é assim tão má desde que a relação T_T / RTT não seja demasiado pequena e a taxa de perda de pacotes seja baixa
- O TCP usa uma janela de receção de valor constante e pode ou não usar a versão SR

Valor dos Alarmes

- Necessariamente superiores ao do RTT
- Se não existirem *buffers* na rede entre o emissor e o receptor (e.g. ambos estão ligados por um canal ponto a ponto direto), o RTT é constante e o valor do *timeout* é mais fácil de estimar
- Se houverem *buffers* pelo meio (e.g. comutadores de pacotes a funcionarem em modo *store & forward* e com filas de espera significativas), o RTT é variável e o valor do *timeout* é mais difícil de estimar
- O protocolo TCP usa um valor de *timeout* ajustado dinamicamente

Conclusões

- A relação entre o tempo de transmissão e o RTT é determinante para o rendimento de um protocolo stop & wait
- Quando esse rendimento é baixo (e.g. Tt << RTT) é fundamental usar protocolos de janela deslizante para melhorar o rendimento
  - É o caso dominante na Internet quando os parceiros em comunicação estão "longe"
- Trata-se de um protocolo complexo com imensos parâmetros ajustáveis a cada cenário
  - O protocolo TCP é um protocolo de janela deslizante que adapta dinamicamente esses parâmetros à cada situação concreta em que é usado