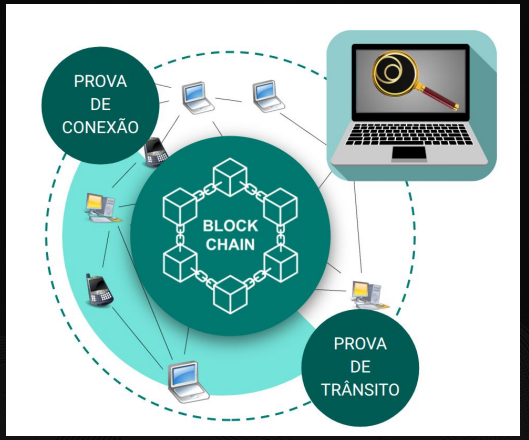
GT-Audita

AUDITORIA TRANSPARENTE EM REDES USANDO BLOCKCHAINS



Título: Auditoria Transparente e Rastreabilidade em Redes Utilizando BlockChains

Coordenador : Prof. Magnos Martinello

Equipe: Luiz Guilherme Bergamaschi Bueloni, Luiz Felipe Machado

Everson Scherrer Borges, Rafael Guimarães, Roberta Lima Gomes e Yuri Victoria

GT-Audita

AGENDA: Motivação, Objetivo, Resultados e Futuro

- Motivação
- Fundamentação do projeto
- Objetivos do Projeto
- Resultados Atuais
- Planejamento Futuro

Motivação : Prova de Conexão

Provedores precisam atender obrigações regulatórias e estarem em conformidade como PNSI

- Provedores de acesso precisam atender obrigações regulatórias e estarem em conformidade com políticas de segurança
    - Por exemplo : um problema comum é que os **dados provenientes dos múltiplos sistemas coletores de logs** estão sujeitos a serem *alterados, apagados* e eventualmente *refutados*.

- **Registros** de acesso, autenticação, atribuição de endereços IP , ...
    - Precisam ser coletados, armazenados e recuperados de modo consistente para garantir análises forenses e facilitar os processos de auditorias

Casos de auditoria em um incidente de segurança

Exemplo : o CAIS envia uma descrição de violação de segurança (e.g. *copyright*) :

1. Endereço do IP público da rede da instituição
2. Porta de origem e
3. O horário de acesso

Problema:

- **Garantir de forma irrefutável**, a autoria na sequência de eventos relacionados

O que significa garantir de forma irrefutável, a autoria na sequência de eventos relacionados ?

Para que cada etapa possa ser comprovada de maneira íntegra e incontestável, precisamos

1. Consultar **os logs do firewall** para identificar o endereço IP interno (NAT) utilizado durante o acesso remoto.

2. A partir desse IP interno, analisar os ***logs do servidor DHCP*** para determinar o endereço **MAC associado**.

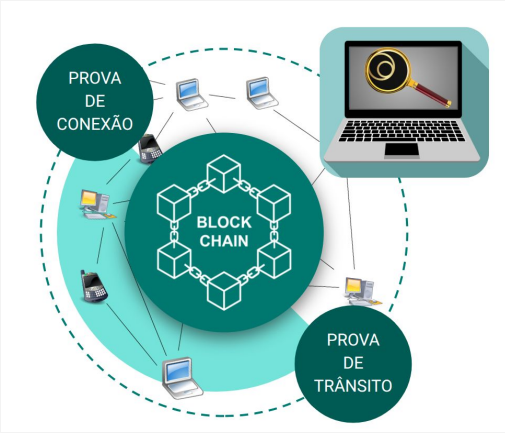
3. Em seguida, verificam-se os registros do ***servidor RADIUS*** a fim de identificar o ***usuário autenticado*** correspondente ao endereço MAC.

Objetivo do projeto : Prova de Conexão

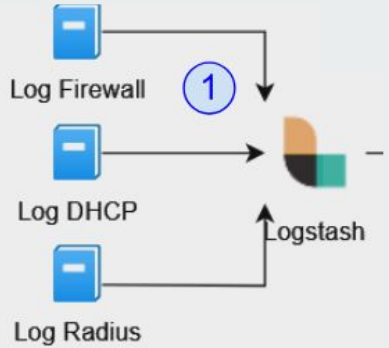
Adicionar uma camada de verificação de registros

- Viabilizar a auditabilidade de **acesso à rede** a partir de **hashes criptográficos (em bloco de registros)** que serão armazenados de *modo* ***cirúrgico*** na blockchain

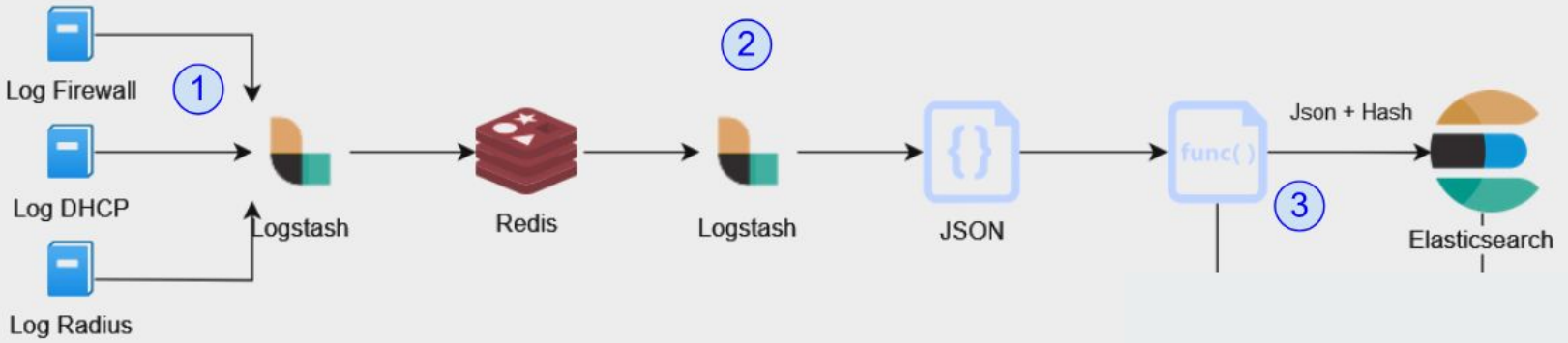
Garantir transparência e que o acesso pelo ***dispositivo/naquela conta/ pelo endereço IP/no tempo Z*** não possa ser refutado.



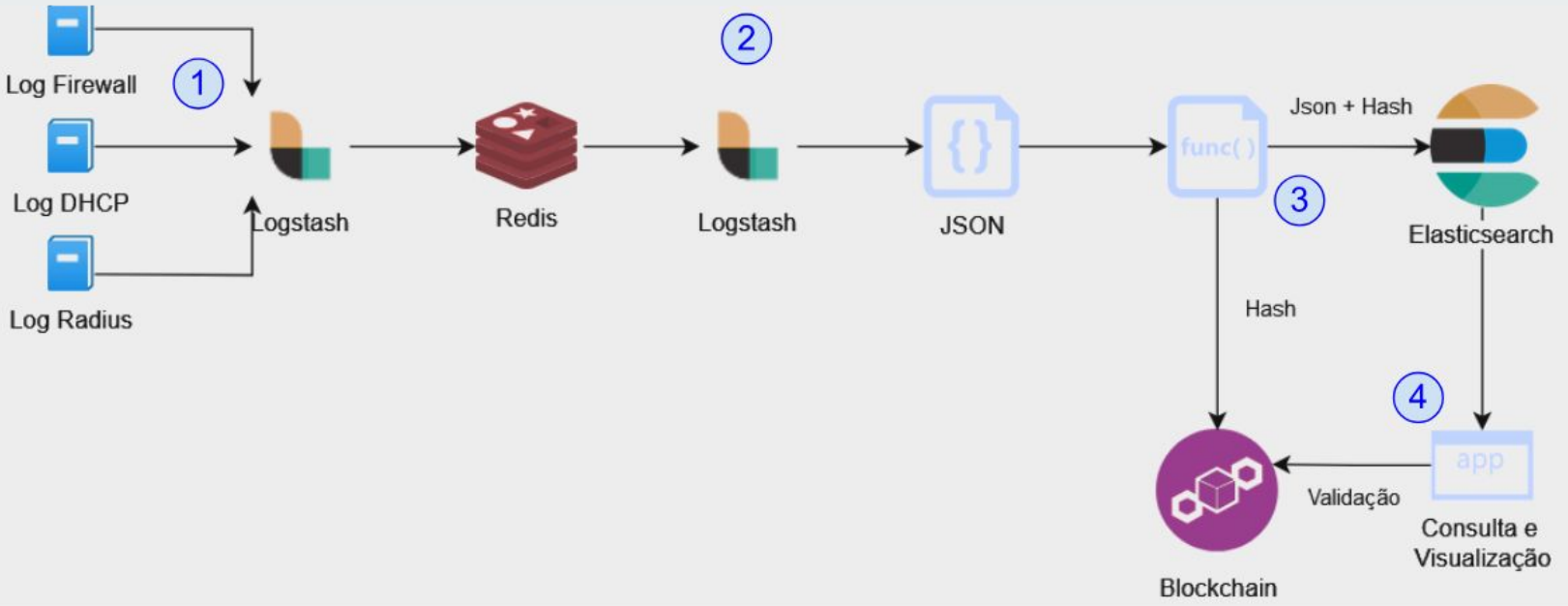
Arquitetura em microserviços para registros das conexões : logs gerados firewall, DHCP e Radius via syslog



Arquitetura do sistema : processamento dos logs gerando JSON e um hash



Arquitetura do sistema : indexação, armazenamento e criação do contrato inteligente na Blockchain

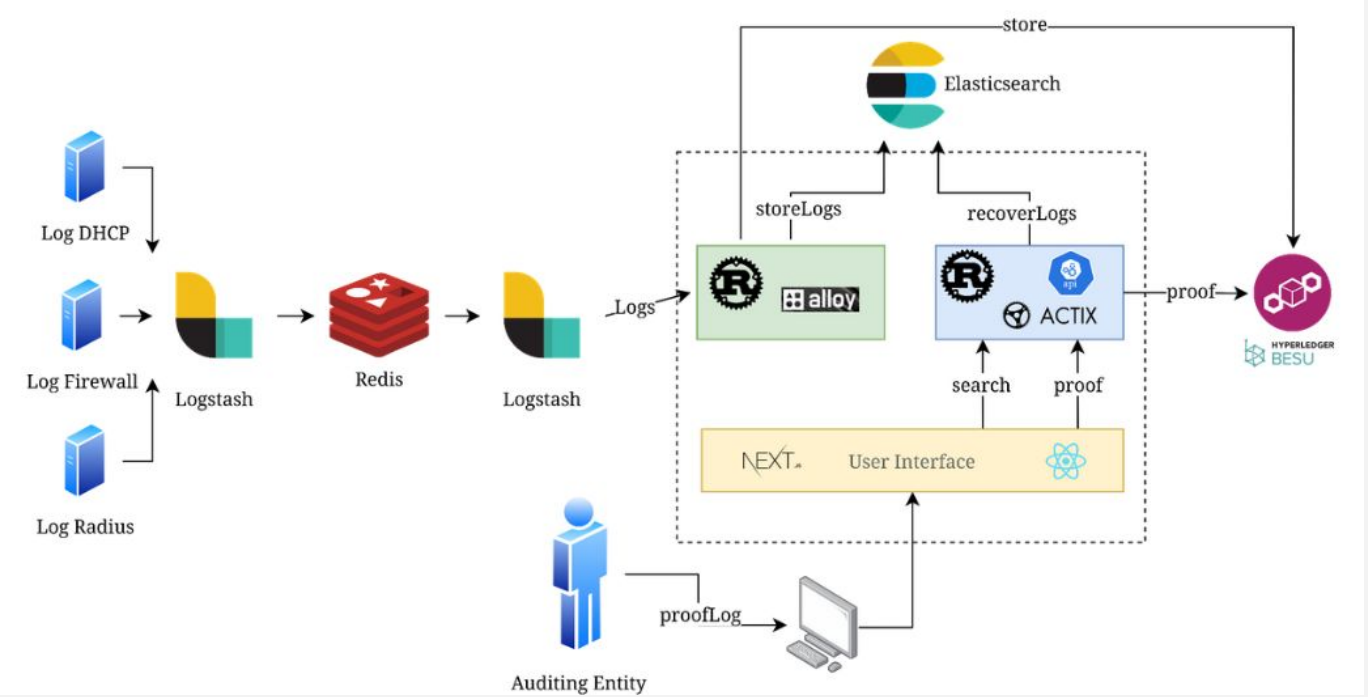


Auditoria : Verificação da Integridade na Blockchain

Buscar o “evento” no Storage e calcular o hash

Consultar Hash na Blockchain

Comparar se não houve alteração, então evento íntegro de modo irrefutável



Resultados

Sistema para auditabilidade transparente em casos de incidentes de segurança

Auditabilidade transparente em casos de violações de segurança

- Um sistema para verificação dos registros de conexões (oferecer prova de conexão)
    - Processamento de logs dos múltiplos coletores escalável em microserviços, indexação, armazenamento em BD e inserção na estrutura de blockchain do projeto Ilíada (integrado e funcionando)
    - Interface de consulta para eventos

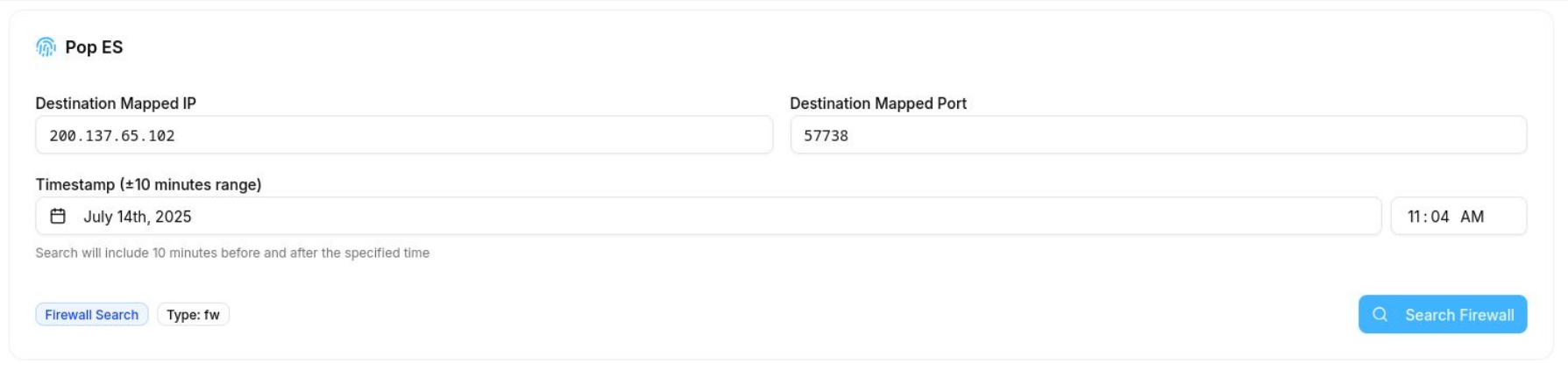
Caso de uso no POP-ES (CAIS)

Recebemos um alerta do CAIS sobre uma violação, gerado a partir dos seguintes parâmetros (exemplo demonstrativo):

Endereço IP: 200.137.65.102
Porta de Origem: 57738
Timestamp: 2025-07-14T11:04:00-03:00

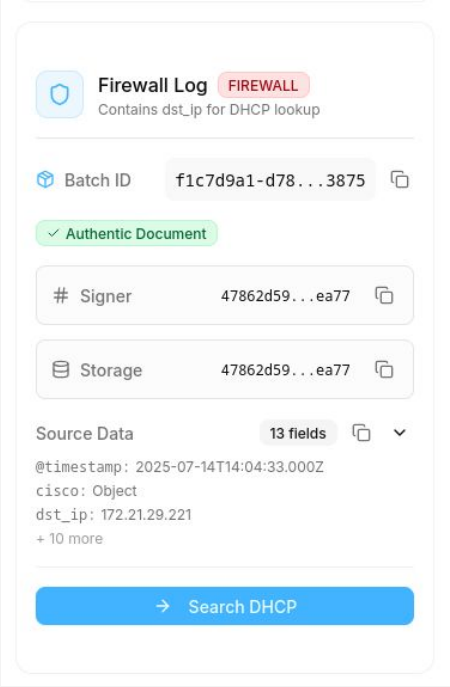
Nosso objetivo **é rastrear o responsável** pela requisição e validar a integridade dos dados envolvidos.

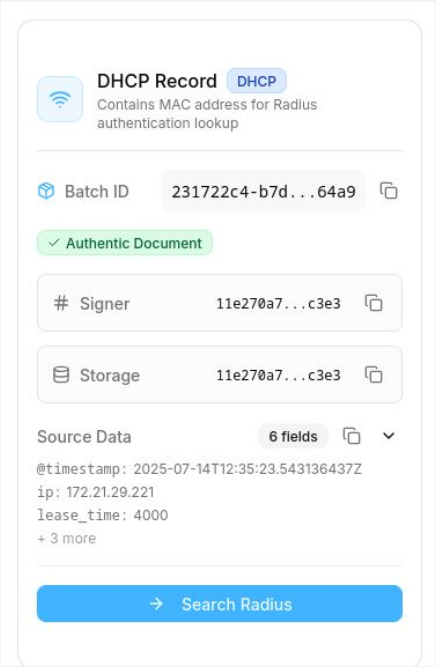
Interface da aplicação

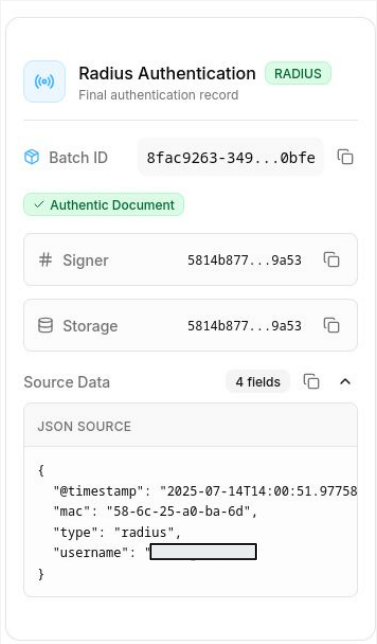


Retorno das consultas

Busca retornou resultados no range de +/- 10 min, selecionamos o mais próximo do timestamp







Resultados

Sistema para auditabilidade transparente em casos de incidentes de segurança

Auditabilidade transparente em casos de violações de segurança

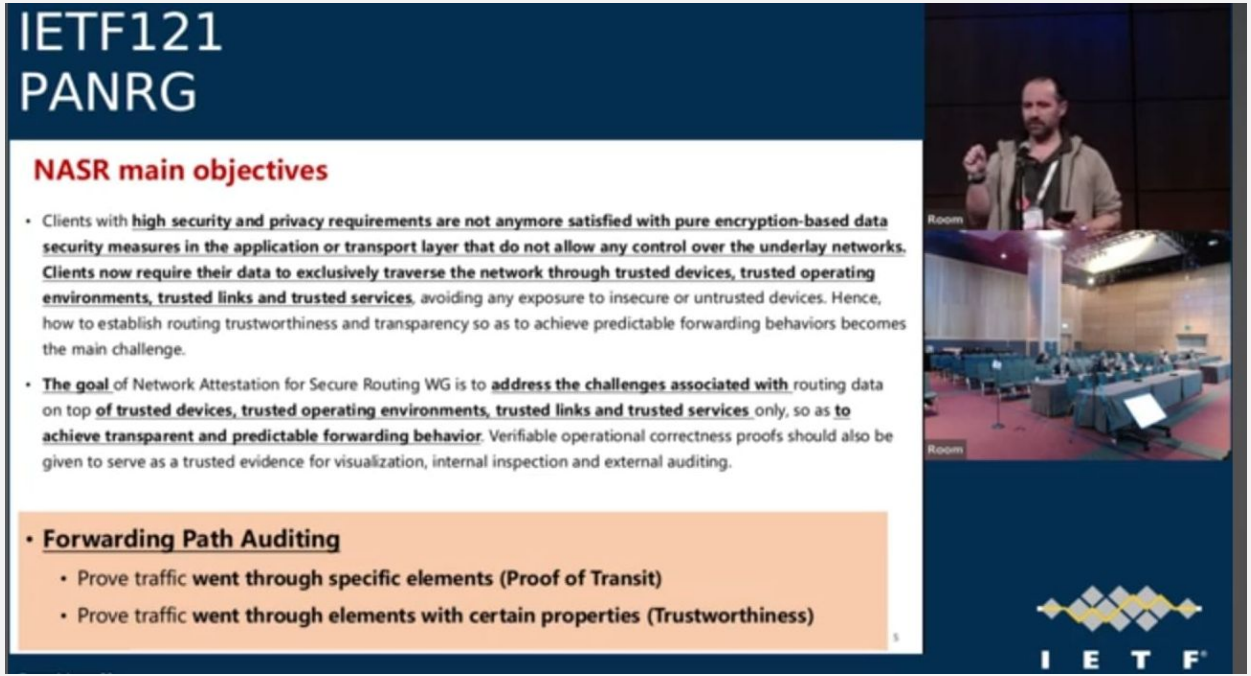
- Um sistema para verificação dos registros de conexões (oferecer prova-de-conexão)
  - Processamento de logs dos múltiplos coletores escalável em microserviços, indexação, armazenamento em BD e inserção na estrutura de blockchain do projeto Ilíada (integrado e funcionando)
  - Interface de consulta para eventos
  - API completa de todas as partes do sistema para reprodutibilidade e extensão
    - Vídeo da demonstração passo a passo (com git)
  - Implantação e uso do sistema de auditabilidade na UFES
    - Casos reais identificados, notificados e respondidos

Objetivo 2 : Desafios referentes à “prova de trânsito”

Provedores precisam responder aos desafios na segurança de trânsito dos fluxos

- Provedores de acesso precisam atestar que um determinado fluxo de pacotes transitou por um caminho (switches/roteadores) previamente planejado
- Os requisitos específicos para *auditabiliddae de caminho* podem variar conforme o ambiente regulatório, o tipo de rede e os serviços oferecidos.
    - Exemplos : Trânsito de um fluxo em um *caminho soberano* ***(i.e. caminho assinado)*** na rede do ISP, precisa ter registros suficientes para **confirmar a trajetória** dos pacotes.

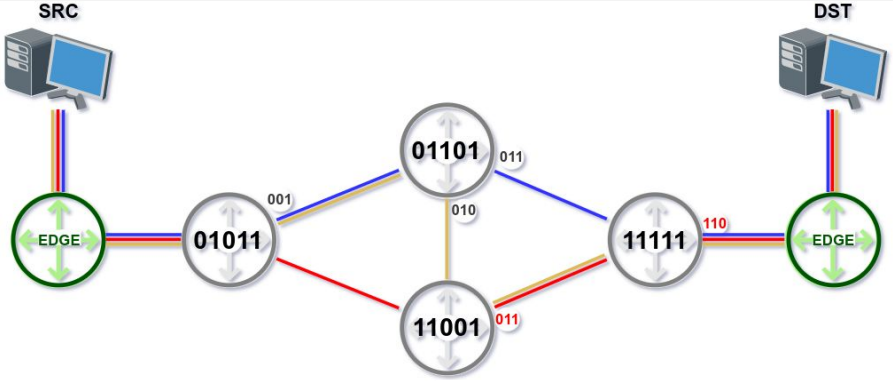
IETF : PANRG Forwarding Path Auditing



Proposta : Verificação de Caminho com base no Sistema Numérico de Residuos (RNS)

1. Associar polinômios irredutíveis aos nós
   01011, 01101, 11001, 11111
2. Para um dado caminho, calcular um RouteID usando "Chinese Remainder Theorem "

Path-1
routeID = 100101111
nodeID - 01011, 01101, 11111
portID - 001, 011, 110



$$\begin{cases} X \bmod 01011 = 001 \\ X \bmod 01101 = 011 \\ X \bmod 11111 = 110 \end{cases}$$

$X = 100101111$ (polinômio $x^8 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$).

Assinatura do Caminho a partir de hashing encadeado salto a salto

- O Route-ID é a solução de um sistema de congruência resolvido para um conjunto de S e O.

$$\{[(s_1(t), o_1(t)], [(s_2(t), o_2(t)], \ldots, [(s_N(t), o_N(t)]\},$$

- Ao explorar a unicidade do par, uma propriedade nativa do sistema de roteamento

$$s_i(t) = \text{nodeID}, \quad o_i(t) = \text{portID}$$

- Propomos uma **assinatura de caminho (path signature) que encadeia a assinatura de cada nó usando CRC32**, mantendo assim o tamanho do cabeçalho fixo.

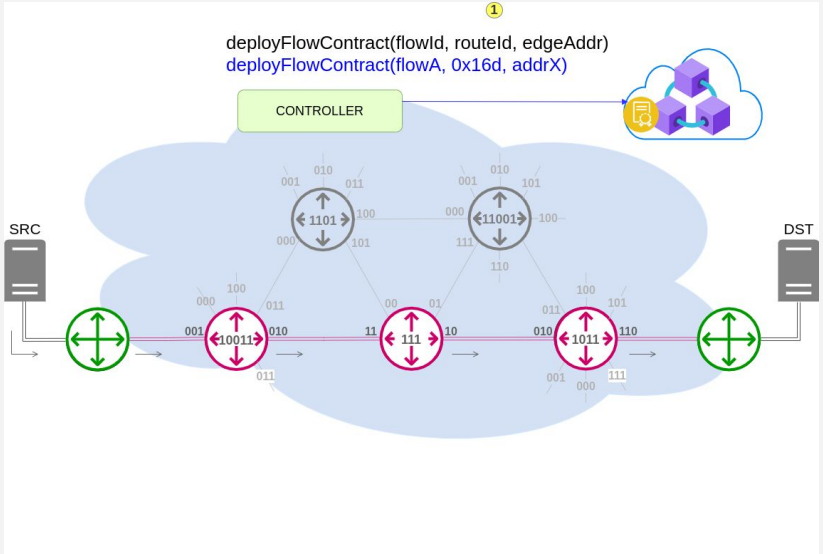
$$L_i = H(s_i(t) \,||\, o_i(t) \,||\, L_{i-1})$$

Proposta verificação de caminho com assinatura a partir de hash encadeado

“PathSec: Path-Aware Secure Routing with Native Path Verification and Auditability” IEEE NFV SDN 2024, M Martinello et. al

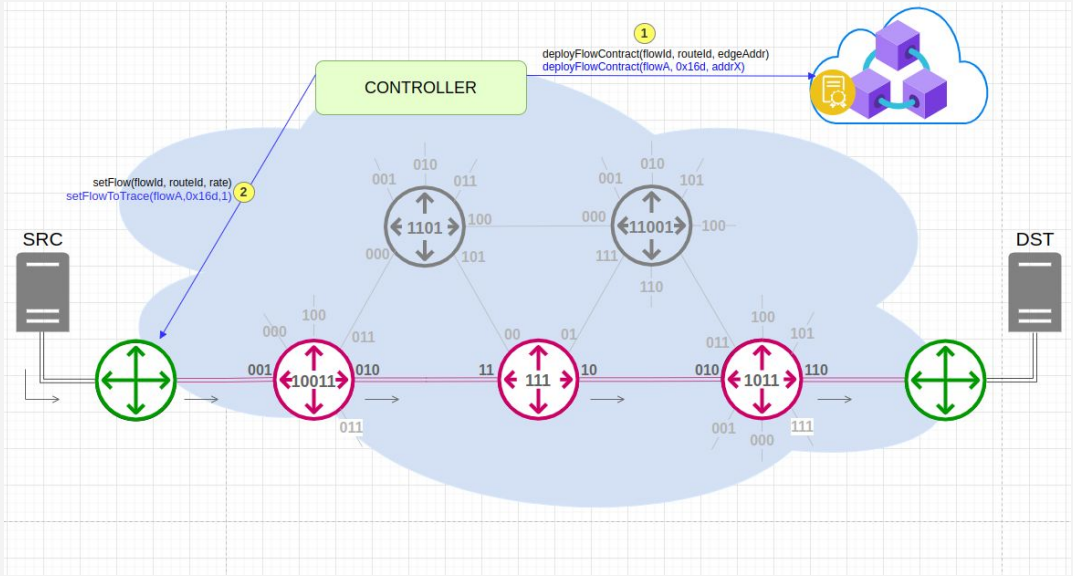
Supondo que precisamos verificar se um fluxo está atravessando o caminho planejado: Calcula-se um hash para obter seu flowID e seleciona-se um caminho com seu routeID específico (R(t) = 0x16d).

- Um contrato inteligente é implantado para cada fluxo, atribuindo um flowID a um routeID.



Configurar taxa de amostragem

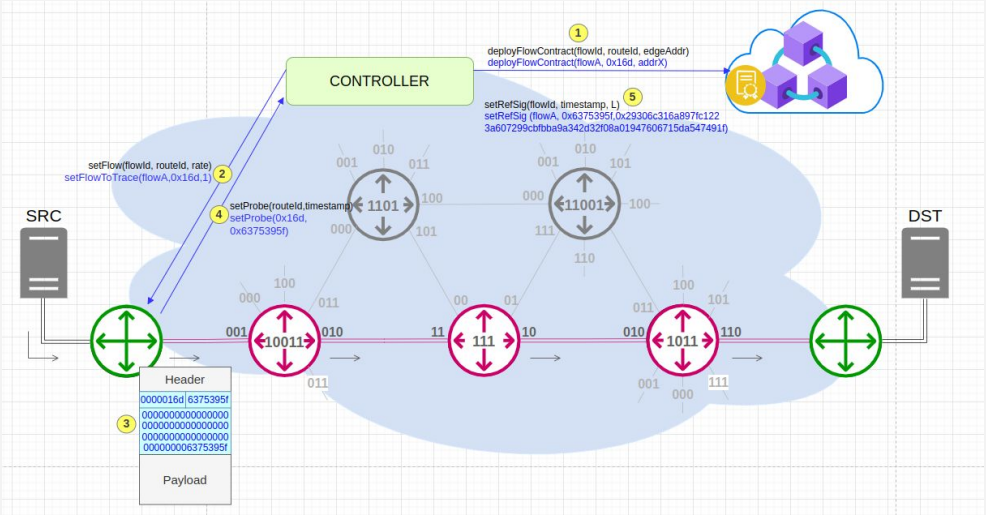
- Uma taxa de amostragem para este fluxo é especificada (por exemplo, 1 pacote/seg).
  O controlador configura o *Ingress Edge* enviando as informações do fluxo na etapa ②.



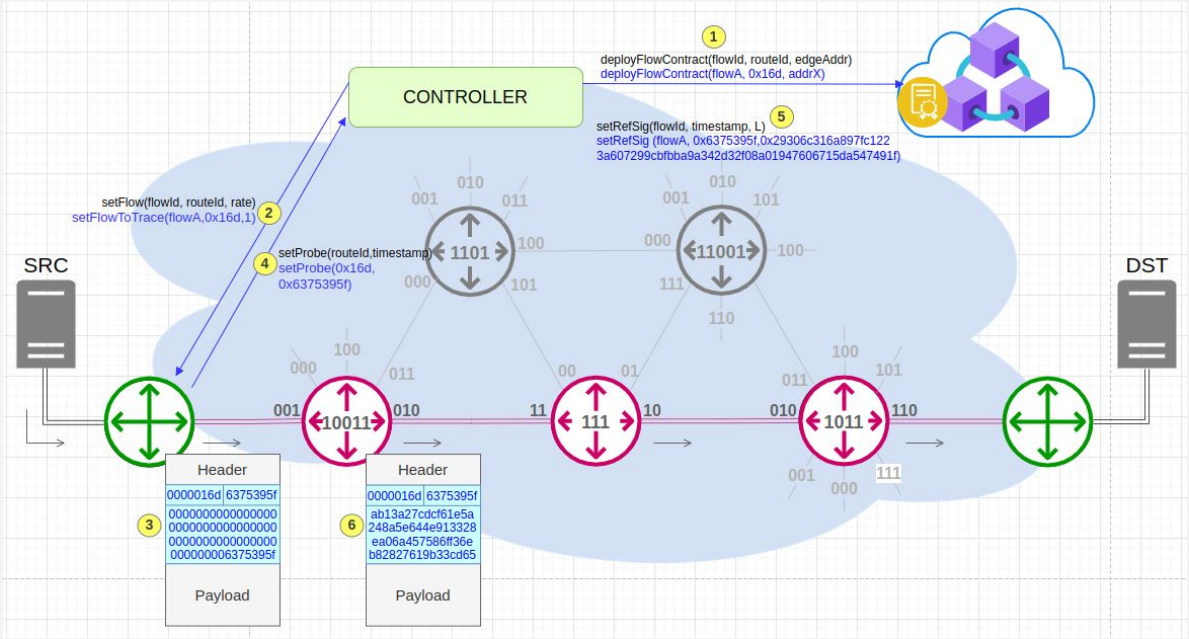
Assinatura de referência no contrato inteligente Route-ID + timestamp por sonda

Para cada sonda, o nó de borda gera aleatoriamente um timestamp e o incorpora tanto no campo de cabeçalho do timestamp quanto no campo de cabeçalho da assinatura leve (por exemplo, L = L0 = 0x6375395f) na etapa ③.

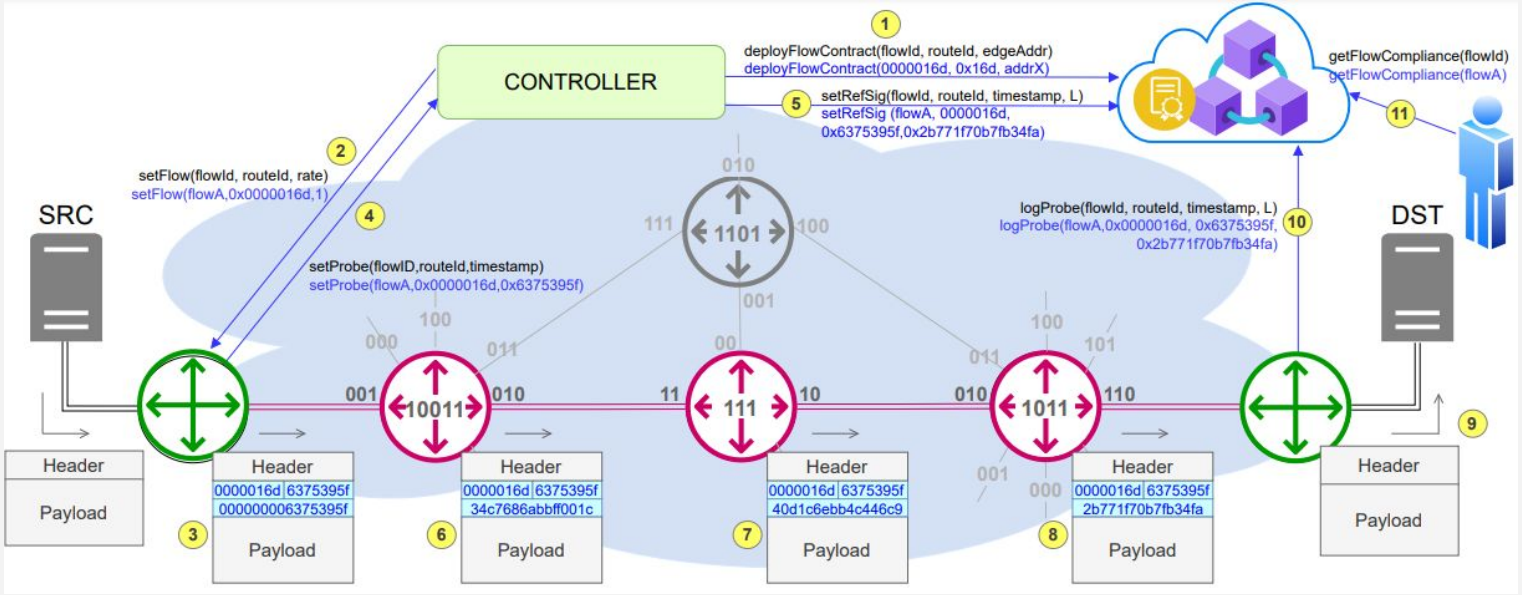
Esse timestamp é enviado ao controlador, que gera e registra a **assinatura de referência no contrato inteligente** do fluxo nas etapas (④⑤).



Computação de hash salto a salto



Design completo do sistema



Resultados

Auditabilidade do trânsito de pacotes em caminhos planejados

Auditabilidade do trânsito de pacotes em caminhos estabelecidos/planejados

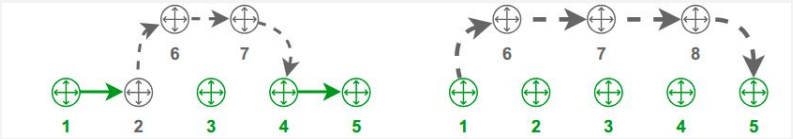
- Integração da blockchain com *uma rede ciente de caminho (PathSec)* por meio da **assinatura de caminho**
- A sonda carregando as assinaturas (hash) salto a salto sendo usada como prova de trânsito e inserida na blockchain para auditabilidade
- **Implementação em ambiente emulado mininet** integrando com projeto Iliada Besu Ethereum

Resultados

Auditabilidade do trânsito de pacotes em caminhos planejados

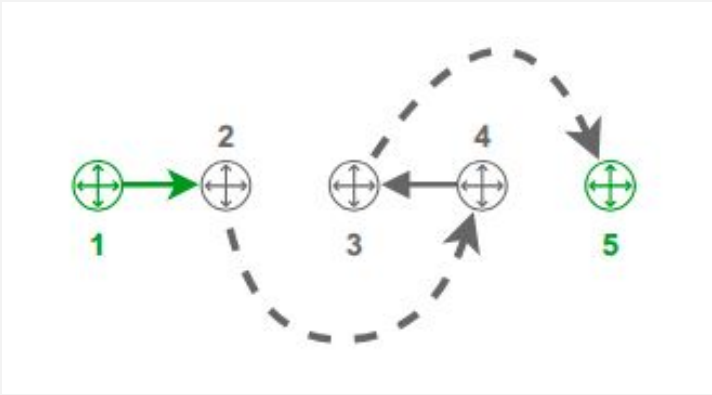
Escopo : Casos de desvio no encaminhamento

[Adição de um nó]
[Salto (skipping) de um nó]

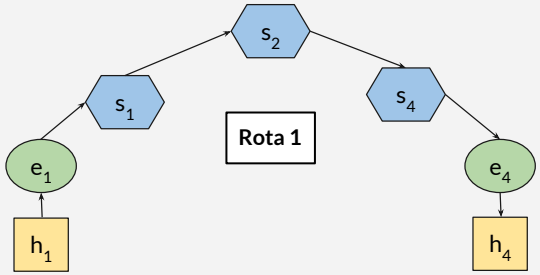


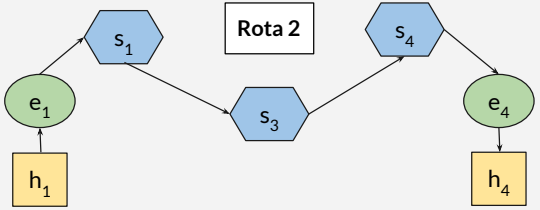
[Detour Parcial e completo]

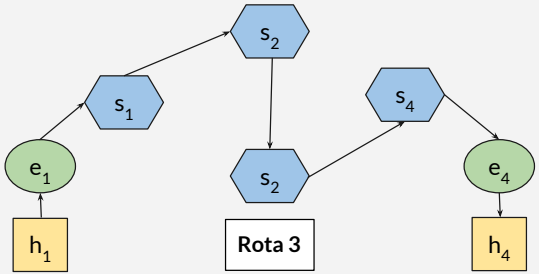
Percurso Fora de Ordem



Caso : Fluxo alterado para uma nova rota







- Engenharia de Tráfego
  - Vídeo demonstrando um fluxo alterado para uma nova rota
- Compliance de trajeto
  - Vídeo demonstrando o histórico da auditoria do fluxo

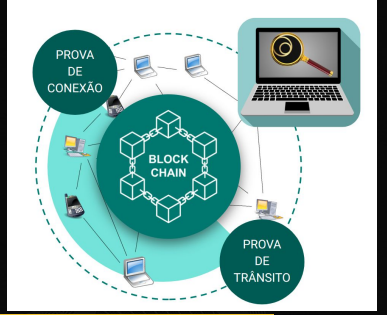
Planejamento Futuro

- Buscar apoio para dar continuidade ao desenvolvimento e uso do sistema de auditabilidade
  - Registro do Software
  - Implantação em outras instituições
  - Plugins para novos coletores

- Implementação da prova de trânsito *feita em Switches Tofino*
  - Demo no Sigcomm 2025

- Buscar apoio para estender a prova de trânsito em Testbeds (e.g. GP4Lab)
  - Garantir **caminhos soberanos** assinados pela Rede
  - Integrar com Blockchain para auditabilidade de caminhos

GT-Audita agradece sua atenção !!!



Contato : magnos.martinello@ufes.br

Agradecimento especial ao projeto Ilíada da RNP

Ao Reinaldo C Gomes pelas múltiplas orientações

GT-Audita

AUDITORIA TRANSPARENTE EM REDES USANDO BLOCKCHAINS